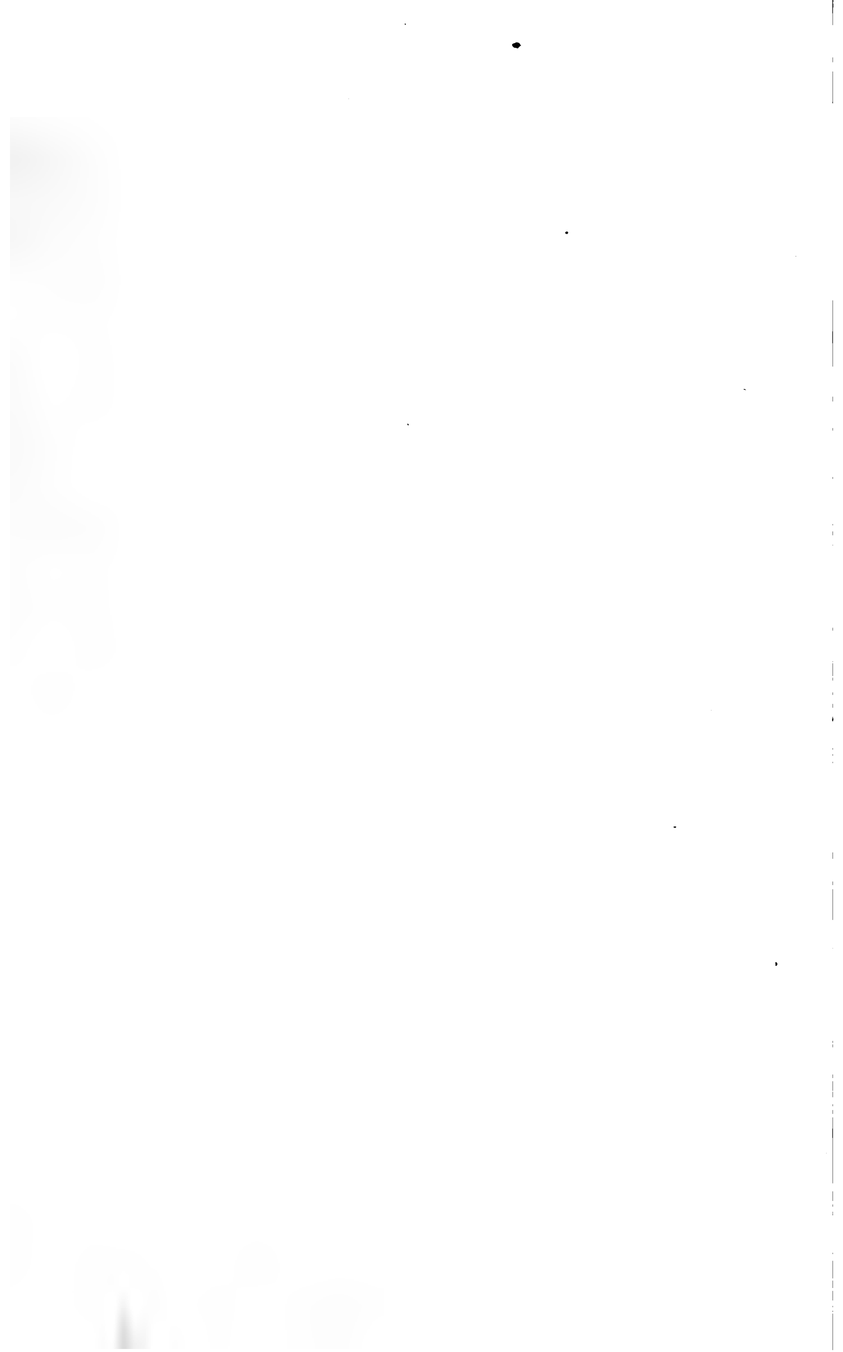






ÉCLAIRAGE

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES

BIBLIOTHÈQUE DU CONDUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS

ÉCLAIRAGE

PAR

L. GALINE
INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES

ET

B. SAINT-PAUL
CONDUCTEUR MUNICIPAL
CHEF DU SERVICE TECHNIQUE DE L'ÉCLAIRAGE DE LA 1re SECTION DE PARIS

PARIS
Vve Ch. DUNOD, ÉDITEUR
LIBRAIRE DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES CHEMINS DE FER
49, Quai des Grands-Augustins, 49
1898

BIBLIOTHÈQUE DU CONDUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS

PUBLIÉE SOUS LES AUSPICES

DE MESSIEURS LES MINISTRES DES TRAVAUX PUBLICS
DE L'AGRICULTURE
DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE
DU COMMERCE ET DE L'INDUSTRIE
DE L'INTÉRIEUR, DES COLONIES
DE LA JUSTICE

Comité de patronage

BEAUREGARD (docteur)	Secrétaire général de l'Association philotechnique.
BECHMANN	Ingénieur en chef de l'assainissement (Service municipal de la ville de Paris), Professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées.
BOREUX	Ingénieur en chef de la voie publique et de l'éclairage (Service municipal de la ville de Paris).
BOUQUET	Directeur du personnel et de l'enseignement technique au Ministère du Commerce.
BOUVARD	Directeur administratif des services d'architecture, des promenades et plantations de la ville de Paris.
BROUARDEL (le Prof[r])	Doyen de la Faculté de médecine, Membre de l'Institut, Président de l'Association polytechnique.
COLSON	Conseiller d'État, Professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées.
COMTE (J.)	Ancien directeur des Bâtiments civils et des Palais nationaux.
DEBAUVE	Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Agent voyer en chef de l'Oise, auteur du *Manuel de l'Ingénieur des Ponts et Chaussées*.
DELECROIX	Avocat, Docteur en droit, Directeur de la *Revue de la Législation des Mines*.
DONIOL	Inspecteur général des Ponts et Chaussées.
BOUSQUET (du)	Ingénieur en chef du matériel et de la traction à la C[ie] des Chemins de fer du Nord.
FLAMANT	Inspecteur général des Ponts et Chaussées de l'Algérie.
GAY	Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
GRILLOT	Président honoraire de la Société des Conducteurs, Contrôleurs et Commis des Ponts et Chaussées et des Mines.
GUILLAIN	Directeur honoraire des Routes, de la Navigation et des Mines.
HATON DE LA GOUPILLIÈRE	Membre de l'Institut, Inspecteur général des Mines, Directeur de l'Ecole nationale supérieure des Mines.

HENRY (E.)	Inspecteur général des Ponts et Chaussées.
HUET	Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, ancien Directeur administratif des Travaux de la ville de Paris.
HUMBLOT	Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur du Service des Eaux de la ville de Paris.
JOUBERT	Ancien Président de la Société des Anciens Elèves des Ecoles nationales d'Arts et Métiers.
LAUSSEDAT (le Colonel)	Membre de l'Institut, Directeur du Conservatoire national des Arts et Métiers.
Me LE BERQUIER	Avocat à la Cour d'appel de Paris.
MARTIN (J.)	Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, Ancien professeur à l'École nationale des Ponts et Chaussées.
MARTINIE	Contrôleur général de l'Administration de l'Armée, Ancien président de la Société de Topographie de France.
METZGER	Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur des Chemins de fer de l'Etat.
MICHEL (J.)	Ingénieur en chef au Chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.
NICOLAS	Conseiller d'Etat, Directeur du Travail et de l'Industrie au Ministère du Commerce, de l'Industrie et des Postes et Télégraphes.
PHILIPPE	Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur de l'Hydraulique agricole au Ministère de l'Agriculture.
PILLET	Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers.

Le **Président** de la Société des Ingénieurs civils de France.

RÉSAL	Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Professeur à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
ROUCHÉ	Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers.
SANGUET	Président de la Société de Topographie parcellaire de France.
TAVERNIER (de)	Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Directeur du secteur électrique de la rive gauche.
TISSERAND	Conseiller maître à la Cour des Comptes.
TRICOCHE (le Général)	Président de la Société de Topographie de France.

BIBLIOTHÈQUE DU CONDUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS

Comité de rédaction

BONNET	Conducteur des Ponts et Chaussées, Service Municipal (Eclairage), Professeur à la Société de Topographie de France.
BOSRAMIER	Conducteur principal des Ponts et Chaussées en retraite.
DARIÈS	Conducteur Municipal (Service des Eaux), Licencié ès Sciences, Professeur à l'Association philotechnique.
DECRESSAIN	Contrôleur principal des Mines, Professeur à l'École d'Horlogerie.
EYROLLES	Conducteur des Ponts et Chaussées, Professeur de Mathématiques appliquées, Membre de la Société des Ingénieurs civils de France.
HALLOUIN	Inspecteur particulier de l'Exploitation commerciale des Chemins de fer.
MALETTE (G.)	Conducteur des Ponts et Chaussées (Service ordinaire et vicinal de la Seine).
A.-H. PILLIET (Dr)	Ancien interne, Lauréat des Hôpitaux, Chef du Laboratoire de Clinique chirurgicale de La Charité.
PRADÈS	Rédacteur au Ministère de l'Agriculture, Professeur à l'Association philotechnique.
REBOUL	Contrôleur des Mines (Service des appareils à vapeur).
REVELLIN	Contrôleur des Mines.
ROTTÉE	Conducteur principal des Ponts et Chaussées (Service ordinaire et vicinal).
SIMONET	Conducteur des Ponts et Chaussées, Service municipal (Voie Publique).
SAINT-PAUL	Conducteur Municipal, Chef du Service de l'Eclairage de la 1re section de Paris, Secrétaire adjoint de la Société de Topographie de France, Professeur à l'Association polytechnique, Vice-Président de l'Association amicale et de prévoyance des Employés municipaux de la Direction des Travaux de Paris.
WALLOIS	Conducteur principal des Ponts et Chaussées, Service municipal (Voie publique), Professeur à l'Association polytechnique.

ÉCLAIRAGE

CHAPITRE I

ÉCLAIRAGE A L'HUILE VÉGÉTALE

§ 1. — Fabrication

1. Graines oléagineuses. — Le nombre des plantes oléagineuses est assez considérable, mais quelques-unes seulement fournissent de l'huile propre à l'éclairage. Parmi les plus employées, il convient de citer l'huile de colza et de navette, accidentellement celles d'œillette, de chanvre, de coton.

Le *colza* est une variété de chou assez cultivé dans le Nord de la France. La graine, ronde, noire et lisse, est seule utilisée à la fabrication de l'huile; il y en a un assez grand nombre d'espèces. Les plus importantes sont : le colza guzerat et le colza brun des Indes. La plante se sème en août; la récolte a lieu en juillet et atteint 30 à 40 hectolitres par hectare.

La graine du chou-rave ou du navet donne l'huile de *navette.* On laisse la plante se développer pour que tous les éléments importants s'accumulent dans la graine plus claire que celle du colza et tirant sur le jaune. On peut faire deux semis au printemps ou en automne; ce dernier est préférable à cause du rendement. La majeure partie de ces graines est fournie par les Indes et la vallée du Danube.

Les terrains maigres conviennent particulièrement à ces plantes oléagineuses; un temps sec leur est favorable, la pluie trop abondante les empêche de mûrir. Les graines,

séparées de la plante, sont conservées en tas; il faut avoir soin de les agiter assez souvent.

L'huile est renfermée dans l'embryon, ou germe; une enveloppe en cellulose la protège de l'air et assure sa conservation; à l'intérieur, le liquide est contenu dans de petites cellules qu'il faut briser; une partie s'échappe directement par égouttage, l'autre s'extrait par pression, elle est alors mélangée à d'autres substances qui la troublent. Plus la graine est sèche, plus l'huile est pure. Pour 1/3 ou 2/5 d'huile, la graine renferme 1/4 à 1/3 de substances albuminoïdes, 1/12 à 1/5 de matières sucrées, et le reste en cendres et eau.

2. Extraction par compression. — *Broyage.* — La fabrication de l'huile se fait dans des moulins spéciaux, ou *tordoirs*. Cette industrie, très ancienne, n'a pas tardé à employer la vapeur comme force motrice.

On évalue généralement à 15 ou 16 chevaux la puissance nécessaire pour produire 3.000 kilogrammes d'huile en vingt-quatre heures, soit 8 à 9.000 kilogrammes de graines traitées. Quelques usines très importantes arrivent à 100 chevaux correspondant à une fabrication de 25.000 kilogrammes d'huile lampante en vingt-quatre heures, soit 60.000 kilogrammes de matière première.

Les graines, avant de subir toute préparation, sont débarrassées des corps étrangers; ce nettoyage se fait au tarare ordinaire. L'extraction de l'huile par compression comporte deux opérations : 1° bris de l'enveloppe des cellules; 2° compression pour chasser la partie liquide. Un seul traitement ne suffit pas pour extraire tout le liquide, il faut répéter plusieurs fois la série des opérations; le premier tour porte le nom de *froissage*, les autres celui de *rebat*.

Pour écraser la graine, on employait primitivement des pilons de 50 kilogrammes environ tombant de $0^m,60$. Le concassage est obtenu actuellement en faisant passer la graine entre deux cylindres inégaux en acier disposés horizontalement, ayant, le petit $0^m,30$ de diamètre, le grand $0^m,75$; leur longueur est de $0^m,40$. Ils tournent avec des vitesses inégales voisines de 60 tours par minute; le plus souvent le petit cylindre est entraîné par frottement. L'écartement entre les

génératrices de contact est variable, les paliers du petit cylindre pouvant se déplacer horizontalement. On règle ainsi la pression différente avec chaque variété de graines. Avec une puissance de $2^{ch},5$ à $2^{ch},75$, suivant l'espèce de graines, on arrive à traiter 5 à 6 hectolitres en dix heures.

Un autre broyeur très répandu est le *moulin de broyage*, ou *tordoir*. Il est formé par deux meules verticales en granit d'environ $2^{m},25$ de diamètre sur $0^{m},40$ de large, pesant 7 à 8.000 kilogrammes. Ces deux meules, ou valseuses, tournent à raison de 20 à 25 tours par minute, autour d'un axe vertical, à des distances un peu différentes. L'arbre vertical, en bois ou en fonte, qui entraîne les meules dans son mouvement de rotation, est muni d'un renflement percé à jour dans lequel passe l'arbre horizontal des meules dont le diamètre varie de 60 à 90 millimètres. Cet assemblage permet à ces dernières de se soulever lorsque la résistance à vaincre est par trop considérable.

Les meules se déplacent sur une meule dormante ou lit de $1^{m},75$ à 2 mètres de diamètre, d'une épaisseur de 40 millimètres et placée à $0^{m},50$ du sol. Le plus souvent, le dessus de la sole est formé par une plaque en fonte. Pour ramener constamment la matière sous les meules, entre ces dernières et tournant avec elles, on installe deux racles supportées par un cadre métallique.

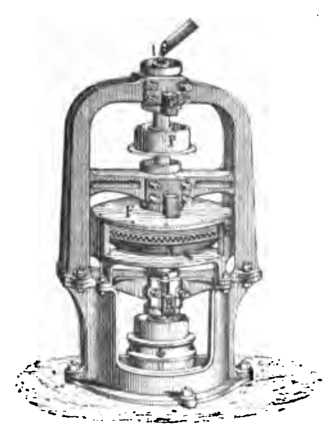


Fig. 1. — Broyeur Hignette.

Lorsque l'opération est terminée, au bout d'une demi-heure environ pour 100 kilogrammes de graines, ayant nécessité une puissance de $2^{ch},75$, on retire la pâte en ouvrant une trappe sur le côté de la meule dormante ; un rabot ramasseur, qu'on abaisse alors, la fait tomber par cette ouverture.

On emploie également avec succès le *broyeur à force centrifuge Hignette* (*fig.* 1). Il est constitué par deux plateaux horizontaux N de forme tronconique et tournant en sens inverse à des vitesses différentes dans des paliers G et R. Chaque plateau est pourvu de broches concentriques disposées de telle façon que celles d'un plateau correspondent aux intervalles des broches de l'autre. Il y a un arbre spécial avec poulie pour chaque plateau; celui du plateau supérieur est creux, formant ainsi canal d'amenée I de la graine. Dans le mouvement de rotation de l'appareil, la graine est chassée par la force centrifuge du centre vers la périphérie et se brise au contact des broches. La pâte est retirée par une vanne latérale ménagée dans une cuve en tôle entourant les plateaux et munie d'un couvercle F. Avec une puissance de $2^{ch},5$ on traite 100 kilogrammes de graines à l'heure.

Chauffage. — Avant d'être soumise à la compression, la pâte doit être chauffée. L'huile, en effet, se trouve mélangée à des substances comme l'albumine et la légumine qu'il suffit de coaguler par la chaleur pour s'en débarrasser. L'opération se fait dans des chauffoirs de froissage. Ces appareils, en fonte ou en cuivre peuvent être chauffés à feu nu ou à la vapeur. La température à laquelle doit être portée la pâte varie de 50° à 55°.

Les chauffoirs à *feu nu* sont formés par une table horizontale de 2 millimètres d'épaisseur environ placée au-dessus du foyer. La pâte est maintenue latéralement par un cercle mobile en tôle ; un agitateur mécanique, ou *mouvet*, monté sur un arbre vertical, permet de la remuer pendant le chauffage; le nombre de rotations est de 30 à la minute. Pour retirer la pâte, il suffit de faire glisser le cercle de manière à la faire tomber dans une trémie sur le devant du four.

Pour le chauffage à la *vapeur* la pâte est enfermée dans un réservoir cylindrique à double paroi. La vapeur est amenée à la partie inférieure du cylindre et se répand ensuite entre les parois. Il faut compter 1 mètre carré de surface de chauffe pour 100 kilogrammes de matière broyée; la consommation de vapeur à 110° est alors de 13 kilogrammes.

Enfin, depuis quelque temps, on se sert d'un système de chauffage continu dû à M. Villon. L'appareil (*fig.* 2) est constitué par une auge demi-cylindrique A disposée dans une caisse à double fond B, C. Elle est traversée dans le sens de la longueur par une vis d'Archimède P ; entre les deux parois du fond, on fait circuler la vapeur. Le fonctionnement est fort simple : la pâte, introduite à l'une des extrémités de l'auge E par une trémie, est prise par la vis qui tourne à raison de un tour à la minute, et transportée à l'autre extrémité S munie d'une vanne de décharge. D'après M. Villon, avec une vis de $0^m,40$ de diamètre d'un pas de $0^m,30$, on peut chauffer par heure 3 hectolitres à 60°. Pour 100 kilogrammes de colza la consommation de vapeur à 110° est de 10 kilogrammes.

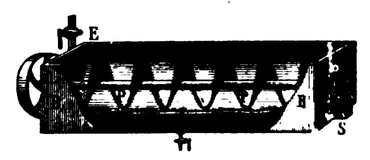
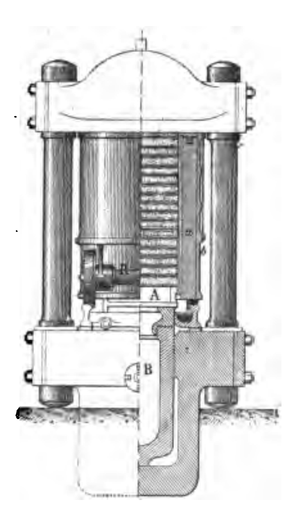


Fig. 2. — Chauffage continu à la vapeur.

Presses. — A sa sortie du chauffoir la pâte est reçue dans une sorte de serviette en crin ou fil. Un cadre métallique entoure la matière enfermée dans cette enveloppe filtrante; chaque cadre en contient 15 à 16 kilogrammes ; les sacs (*scourtins* ou *étreindelles*) sont alors soumis à l'action des presses. En général, chaque presse est en deux parties comportant chacune la moitié des cadres ; pendant qu'une moitié est sous pression, un ouvrier prépare l'autre ; le travail est ainsi continu. Cette première compression, dont l'énergie croît de 50 à 200 atmosphères, donne l'huile de première qualité.

La pâte n'ayant abandonné qu'une partie de son huile, on lui fait subir à nouveau la série des opérations précédentes ; ce second traitement constitue le *rebat*. Les graines, agglomérées sous forme de tourteaux, subissent un broyage dans une machine composée de deux cylindres dentés, puis elles repassent sous le tordoir et sont renvoyées au chauffoir ; toutefois la durée de ce chauffage n'est plus que la moitié de celle du froissage. On les soumet ensuite à une nouvelle compression.

L'opération du rebat peut se répéter plusieurs fois, mais l'action des presses doit être de plus en plus énergique au fur et à mesure que la pâte s'épuise. Au début, on employait les presses à coins; elles ont été remplacées depuis par la presse hydraulique avec une modification spéciale pour le traitement des huiles, qui consiste à remplacer le plateau ordinaire par une série de plateaux superposés. Chaque plateau forme piston pour celui du dessus, et matrice pour le plateau inférieur. Les sacs sont placés sur les pistons; ils sont retenus latéralement par les parois de la matrice. Ces parois sont inclinées de manière à pouvoir retirer facilement les sacs écrasés en les poussant par le plus petit côté. Quand on enlève la pression, tous les plateaux descendent l'un après l'autre; ils sont arrêtés par des clavettes en fer méplat engagées dans des mortaises pratiquées sur les montants de la presse. On maintient ainsi l'écartement nécessaire, tout en assurant le guidage des plateaux. La pression par centimètre carré varie de 150 à 200 et 300 kilogrammes (Voir *Machines hydrauliques*).



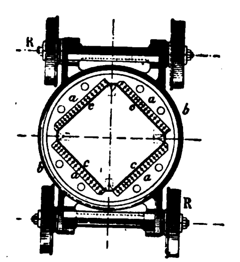


Fig. 3. — Compresseur Tollin.

Le liquide provenant de ces diverses opérations est mélangé et constitue l'huile de deuxième qualité. Le rebat ne donne guère environ que le tiers de la quantité d'huile obtenue au froissage.

On a imaginé d'autres appareils de pression, parmi lesquels il convient de citer le *compresseur Tollin* (*fig.* 3). Il comporte quatre segments en fonte *a*, rabotés sur leur face plane interne et

tournés extérieurement. Ils sont entourés d'un manchon *b* en acier coulé alésé intérieurement. Sur les faces planes on dispose une série de barrettes en acier doux, formant surface filtrante. A l'intérieur de ce parallélipipède dans lequel on introduit la pâte, se meut un piston compresseur rectangulaire A actionné directement par le piston de la presse B. Le compresseur, monté sur un chariot R, se déplace sous des presses différentes dont l'action peut varier de 80 à 300 kilogrammes par centimètre carré. Une d'elles, dite presse de préparation, sert au chargement et au déchargement du compresseur. La pâte broyée est disposée en couches horizontales séparées par une étoffe filtrante et une plaque de tôle. On peut éviter l'emploi du chauffoir en faisant circuler autour du manchon, muni alors d'une chemise en tôle, un jet de vapeur. Cet appareil est très avantageux au point de vue de la rapidité des opérations; de plus, il supprime l'emploi des scourtins. Il est vrai que les filtres-presses, dont l'usage commence à se répandre, ont aussi cet avantage qui entraîne une économie importante.

3. Extraction par les dissolvants. — Certaines substances volatiles, comme le sulfure de carbone, l'éther de pétrole, la benzine, dissolvent l'huile des graines sans toucher aux autres matières. On comprend aisément le procédé de fabrication qui en résulte: faire absorber l'huile en mélangeant le dissolvant à la graine, séparer le liquide des matières solides et, finalement, chauffer le liquide pour évaporer le dissolvant que l'on recueillera en vue d'une seconde opération. On obtient ainsi de l'huile parfaitement pure.

L'appareil se compose (*fig.* 4) d'un vase A à double fond dans lequel on met la graine ou les tourteaux. Du réservoir R on fait couler par le tube L le sulfure de carbone. La vapeur arrive par H dans le double fond et porte la masse à l'ébullition. Les vapeurs produites se dégagent par K pour se condenser dans le serpentin B et tomber dans le réservoir R. Le liquide chaud de A descend par *a* dans le récipient C chauffé également par un serpentin de vapeur S arrivant par *b* dont l'eau condensée s'écoule par *d*. Du récipient C le sulfure de carbone vaporisé se rend par M dans le

serpentin B. On peut injecter directement de la vapeur dans le liquide par l'orifice O pour chasser les dernières traces du dissolvant. On retire le liquide gras par le robinet U. Le dissolvant condensé en B se recueille en R, d'où il pourra servir à une seconde opération; R est muni d'un trou d'homme, d'un tube de niveau et d'un robinet d'introduction. La matière épuisée s'enlève par le trou de vidange D.

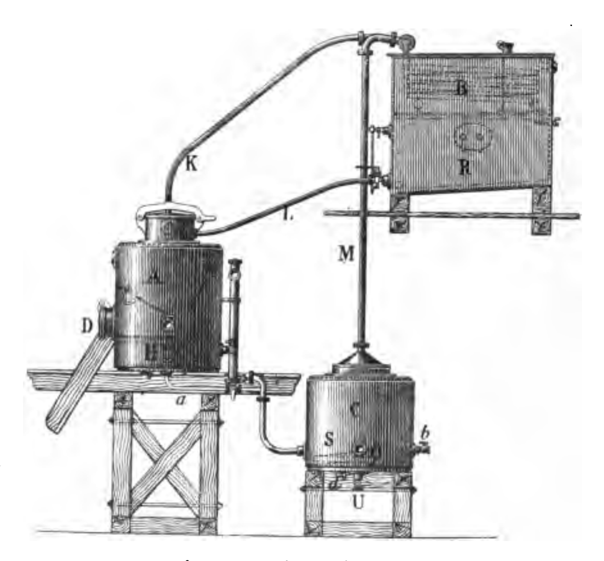


Fig. 4. — Extraction par les dissolvants.

Dans le cas des huiles lampantes ce procédé ne s'applique pas complètement. Il est en effet très difficile de réduire la graine en poudre assez fine pour en extraire toute l'huile. On emploie alors un moyen mixte qui consiste à faire subir à la graine la préparation ordinaire, de manière à obtenir l'huile de première pression, puis à traiter les tourteaux par le sulfure de carbone. On arrive ainsi à retirer toute l'huile à 1 ou 2 0/0 près ; les cellules ont été tellement broyées qu'on a alors le mélange intime si difficile à avoir au début. L'huile ainsi préparée est très pure, bien qu'un peu plus colorée.

On peut parvenir à avoir des tourteaux indemnes de tout goût et de toute odeur à la condition d'enlever tout le sulfure de carbone.

4. Épuration. — L'huile n'est pas livrée directement au commerce ; elle renferme des corps étrangers dont il faut la débarrasser. Après un premier lavage à l'eau, favorisé par une agitation continue, l'huile décantée est soumise à l'action de l'acide sulfurique dans la proportion de 5 à 0,5 0/0, suivant que l'on opère à froid ou à chaud. Le mélange est agité vivement. Au début, quand on verse l'acide lentement par fraction, le liquide prend une couleur verdâtre, puis il devient brun pour finir noir. Le traitement à chaud doit se faire à une température de 60 à 70° ; il a lieu dans des cuves en bois revêtues de plomb. Lorsque la couleur noire apparaît, on laisse reposer le liquide pendant vingt-quatre heures, puis on introduit par hectolitre d'huile 30 litres d'eau tiède. On agite pendant une demi-heure et on fait écouler le mélange dans un endroit où la température est d'environ 20 à 25°. Au bout de six à huit jours, on observe que la masse est partagée en trois couches : la première est de l'huile pure qu'on soumet ultérieurement au filtrage ; la seconde est formée par un liquide impur que l'on conserve à part et dont on finit par retirer une certaine quantité d'huile ; la troisième couche ne contient guère que de l'eau chargée d'acide sulfurique et de la matière mucilagineuse carbonisée.

Filtrage. — Les filtres sont constitués par de grands réservoirs cylindriques de 7 à 8 mètres de profondeur. Vers le milieu, ils sont munis d'un plancher à claire-voie sur lequel repose de la laine recouverte de sciure de bois. L'huile se filtre en traversant ces diverses substances. La durée de l'opération est très variable, elle dépend de la plus ou moins grande compression de la sciure ; on compte en moyenne 200 kilogrammes d'huile par mètre cube de sciure.

Blanchiment. — Le blanchiment peut être réalisé par la lumière : dans un bassin en tôle de 4 mètres de long sur 3 de large et 0,30 de hauteur on verse de l'eau jusqu'aux deux tiers de la hauteur : cette eau doit pouvoir être

échauffée par un tuyau de vapeur ; on verse ensuite de l'huile sur une hauteur de 0,05 ; après une quinzaine d'heures la décoloration est achevée.

On peut encore obtenir le blanchiment des huiles par la chaleur ; on emploie à cet effet des cuves portant un agitateur mécanique. Ces cuves sont chauffées à 110° ; puis le chauffage est remplacé par une injection de vapeur à 2 atmosphères pendant dix heures environ.

5. Propriétés. — L'huile épurée est un liquide jaunâtre, transparent, onctueux au toucher et sans saveur. Sa densité varie avec son origine ; celle du colza pèse de 0,9136 à 0,9147, et l'huile de navette atteint 0,9178. Elle se solidifie à basse température : — 6° pour l'huile de colza, — 3°,7 pour celle de navette. Fortement chauffée, elle reste fixe, jusqu'à une température voisine de 300° ; au delà, elle se décompose en donnant des carbures éclairants. Elle est très dilatable par la chaleur, ce qui explique le coulage des fûts

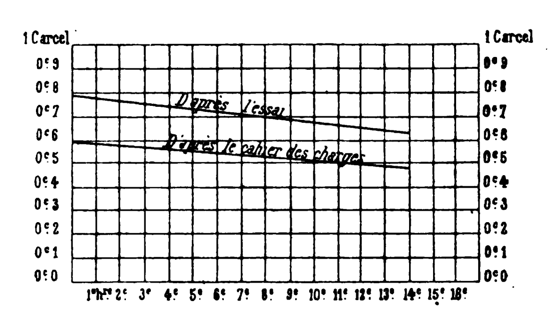


Fig. 5. — Essai photométrique d'une huile.

pendant l'été. Le coefficient de dilatation de l'huile de colza est 1/1120.

Au contact de l'air elle en absorbe l'oxygène qui diminue sa fluidité et la rancit ; elle prend alors une couleur verdâtre. Insoluble dans l'eau, elle s'unit avec facilité aux essences et aux autres huiles de nature différente, formant avec elles des mélanges intimes.

Les caractères physiques sont trop peu différents d'une huile à l'autre pour pouvoir en fixer la nature, d'autant plus qu'on les mélange toujours entre elles. Plusieurs réactifs ont été essayés (permanganate de potasse, acide sulfurique), mais sans grand succès. En ce qui concerne l'éclairage, on se contente de déterminer la densité, puis le pouvoir éclairant au photomètre. L'huile essayée dans une lampe spéciale doit donner à des intervalles déterminés une puissance lumineuse fixée par la pratique, comme l'indique la courbe de la figure 5, se rapportant à l'essai d'une lampe bec rond de la Compagnie du chemin de fer du Nord. A l'essai, elle donne $0^{carc},8$; au bout de dix heures, $0^{carc},68$, et finalement $0^{carc},63$; la densité est de 0,913. Il suffit alors de comparer ces résultats à ceux fournis par l'huile type.

6. **Résidus.** — Les résidus de la fabrication sont au nombre de trois : les *tourteaux*, les *fèces* et les *eaux acides*.

Les *tourteaux*, formés par l'enveloppe des cellules des graines débarrassées de tout liquide, contiennent deux sortes de produits ; les uns propres à l'alimentation des animaux, les autres à la culture comme engrais, d'où deux emplois distincts. Toutefois on a remarqué, avec confirmation par l'analyse chimique, que les éléments propres à l'engrais ne convenaient pas à l'alimentation, mais qu'on les retrouvait presque intacts dans le fumier. Il en résulte que, pour utiliser parfaitement les tourteaux, il faudrait les donner d'abord aux bestiaux ; malheureusement quelques-uns d'entre eux sont toxiques : ceux de colza, par exemple, peuvent renfermer de l'essence de moutarde.

La quantité de tourteaux obtenus dans la fabrication est assez variable et dépend de la nature des graines. Un hectolitre de colza, pesant 68 à 70 kilogrammes, donne 24 à 26 kilogrammes d'huile et 30 à 32 kilogrammes de tourteaux. La navette pèse un peu moins : 1 hectolitre, d'un poids de 60 à 70 kilogrammes, donne 20 à 26 kilogrammes d'huile. Les tourteaux de colza sont caractérisés par leur couleur jaune ou verte : ils servent surtout d'engrais ; ceux de navette, au contraire, sont employés pour la nourriture des vaches laitières. Les tourteaux provenant du traitement au sulfure

de carbone ne sont dépourvus de goût et d'odeur que lorsque le traitement a été complet.

Les *fèces* constituent un résidu liquide provenant de l'épuration ; d'après sa densité, il est compris entre l'huile et l'acide, on l'emploie particulièrement à la fabrication des savons.

Les *eaux acides*, après avoir servi à plusieurs épurations, sont utilisées pour le décapage des tôles et la fabrication de la couperose.

§ 2. — Lampes a huile

7. Lampes à bec plat. — L'éclairage à l'huile étant très ancien, on comprend aisément que le nombre des appareils soit considérable ; mais de toutes ces lampes bien peu subsistent, appelées peut-être à disparaître prochainement. En effet la consommation de l'huile va sans cesse en décroissant, et de 1860 à 1896 elle a baissé d'un tiers, par suite de la concurrence que lui font les autres systèmes d'éclairage.

L'appareil le plus simple, encore usité, consiste en un réservoir en fer-blanc dans lequel plonge une mèche plate tressée. L'alimentation se fait par capillarité. Cette mèche est guidée par une gaine métallique qui se visse sur le réservoir ; un pignon extérieur sert à la remonter au fur et à mesure de son usure. La flamme, fort peu résistante au vent, est enfermée dans une lanterne.

Quelques Compagnies de chemin de fer emploient encore les becs plats (*fig.* 6). Le réservoir A, en forme d'anneau, est alors placé au-dessus du bec ; l'huile arrive à ce dernier d'une manière intermittente par deux branches coudées B. Elle s'écoule par son propre poids à mesure que l'air pénètre dans le réservoir n'ayant d'autre orifice que le bec C ; de là l'obligation, pour maintenir la pression à peu près constante, de donner une faible hauteur au réservoir.

Souvent une seule des branches sert à l'alimentation, l'autre B_1, munie d'un bouchon D, étant réservée alors au remplissage du réservoir que l'on renverse pour cette opération. La mèche est simplement montée sur un porte-

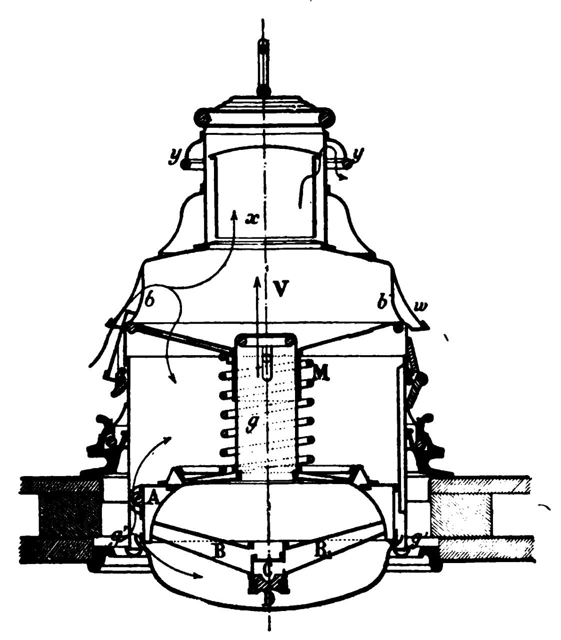


Fig. 6. — Lampe à bec plat.

mèche mobile ; il n'y a pas de pignon de réglage. On la remplace après chaque période de fonctionnement. Tout l'appareil est renfermé dans une lanterne avec coupe en verre dans le bas correspondant au compartiment à éclairer.

8. Lampes à bec rond à alimentation automatique. — La flamme des lampes précédentes est toujours rougeâtre et fuligineuse, par suite de la combustion incomplète provenant du manque d'air. Une grande amélioration a été obtenue par l'invention du bec rond à double courant d'air due à Argand.

Ce bec est formé de deux cylindres concentriques entre lesquels on introduit une mèche tissée. La faible densité de l'air chaud détermine, au centre du bec, un courant qui active la combustion. Une cheminée en tôle, placée primitivement au-dessus du brûleur, augmentait encore le tirage; elle a été remplacée dans la suite par une cheminée en verre entourant le bec et coudée à sa partie supérieure pour bien diriger l'air sur la flamme.

Lampes à réservoir latéral. — L'application du bec Argand fut faite aux lampes de cette époque (1780), dont on rencontre encore un exemple dans la lampe à réservoir latéral qui n'est plus guère employée que comme appareil de luxe. Le bec communique par un conduit incliné avec le réservoir d'huile. Pour maintenir le liquide constamment à la hauteur du niveau supérieur du bec, on renverse dans le réservoir cylindrique un vase de même forme, ou bouteille. Cette bouteille, pleine d'huile, a son orifice dans le plan du niveau précédent. Dès que le liquide baisse dans le réservoir, une bulle d'air rentre dans la bouteille, faisant, par suite de l'augmentation de pression, écouler le liquide jusqu'à fermeture de l'orifice. Une petite ouverture ménagée sur le réservoir maintient sur la surface du niveau la pression atmosphérique (*fig.* 7).

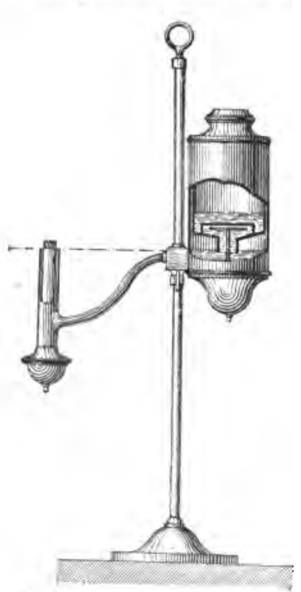


Fig. 7. — Lampe à réservoir latéral.

Le remplissage de la bouteille se fait par son orifice muni d'une soupape, qui se ferme lorsqu'on la soulève et empêche l'huile de tomber. Quand on la remet en place, la soupape qui est munie d'une tige appuyant sur le fond du

réservoir se soulève. Tout l'appareil coulisse le long d'un support vertical, mais il manque de stabilité et son emploi difficile l'exclut d'un service courant; la présence du réservoir latéral a d'ailleurs l'inconvénient de provoquer une ombre assez importante.

Lampes à réservoir supérieur. — Le principe des lampes à alimentation automatique et à bec rond a été appliquée à une série de lampes de voitures de chemins de fer. Dans le système de la Compagnie du Nord, le réservoir A muni de cales C pour reposer sur D est placé au-dessus du bec ; il a la forme d'un anneau rectangulaire. D'un point de sa surface inférieure se détache un tube vertical P fermé par une soupape *a* à longue tige (*fig.* 8). On place cette bouteille au-dessus d'un étrier supporté par le réflecteur et dont une branche creuse T reçoit le tube vertical. La queue de la soupape *q* butant contre le fond de l'étrier se soulève, et l'huile s'écoule jusqu'à la mèche. Le point le plus élevé de l'orifice du tube de la bouteille doit être à 5 ou 7 millimètres au-dessous du plan supérieur du bec. Le fonctionnement est le même que dans l'appareil précédent : lorsque le niveau baisse, l'air pénètre dans la bouteille, amenant l'écoulement d'une nouvelle quantité de liquide. Une petite ouverture *m* dans la branche creuse de l'étrier permet à la pression atmosphérique d'exercer son action sur le niveau de l'huile.

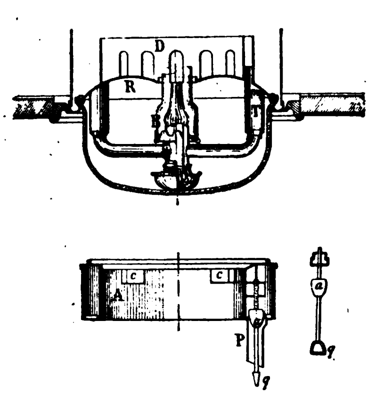


Fig. 8. — Lampes à bec rond.

La lampe se complète d'une cheminée en verre coudée B, prolongée par une cheminée en tôle. Un godet O vissé au-dessous du bec reçoit le trop-plein de l'huile ; un réflecteur en tôle nickelée R, étudié tout spécialement, renvoie la lu-

mière dans tous les coins du compartiment. La mèche ronde, de faible longueur, se place sur un porte-mèche mobile ; elle est remplacée après chaque allumage. Cette lampe, pour une consommation horaire de 32 grammes, donne $0^{carc},70$; la contenance du réservoir étant de 585 grammes, la durée d'éclairage peut atteindre dix-huit heures.

Dans le système *Lafaurie et Potel*, employé sur le réseau de l'Ouest, la cheminée est supprimée. La bouteille a la même forme que précédemment; du fond se détache un seul tube coudé qui alimente la mèche. Tout le long de ce tube règne une seconde conduite qui prend l'air hors de la coupe et l'amène au centre du bec. L'air nécessaire au courant extérieur pénètre entre la coupe et le réflecteur séparés par trois cales. Le réflecteur est muni en son centre d'une cheminée métallique traversant le réservoir ; sa section à la base est égale à celle de la mèche, $0^{m},02$. On obtient ainsi un tirage énergique qui donne à la flamme une très grande fixité. L'alimentation n'a pas lieu d'une manière aussi constante que dans l'appareil précédent, la descente de l'huile se faisant au fur et à mesure de l'entrée de l'air par le conduit d'arrivée du liquide. Comme précédemment, la lampe se complète d'une coupe en cristal et d'un godet de trop-plein. La consommation d'huile est de 25 à 30 grammes à l'heure. Le grand avantage de cette lampe est la suppression de la cheminée, ce qui entraîne une économie notable.

Tous les appareils précédents, et, d'une manière générale, tous ceux destinés à l'éclairage en plein vent doivent être enfermés dans une *lanterne*. Cette enveloppe est en deux parties : le corps M et le chapiteau V (*fig.* 6). Sur le corps de la lanterne sont disposés des orifices *g'* laissant pénétrer l'air nécessaire à la combustion. Le chapiteau, qui n'est en quelque sorte que le prolongement de la cheminée *g*, sert à l'évacuation des gaz brûlés; il se termine le plus souvent par une calotte mobile *y* qu'on ouvre pour le nettoyage de l'appareil. Il arrive que, par suite du vent, le tirage se modifie et occasionne des fluctuations de la flamme. Pour éviter cet inconvénient, on perce sur le chapiteau une série de trous *b* permettant une nouvelle entrée d'air. Si l'aspiration produite

par le tirage augmente, une partie de cet air est entraînée directement vers la sortie x sans amener aucun mouvement de la flamme, mais il faut pour cela que la quantité admise soit suffisante.

Dans la construction d'une lanterne, il faut éviter de faire communiquer directement l'intérieur de l'appareil avec l'air extérieur ; on intercale une double paroi entre les deux, ou bien l'on recouvre l'orifice d'un volet w, de manière à briser le courant. Ces observations s'appliquent également dans le cas d'une lanterne de ville.

9. Lampes mécaniques. — *Lampe Carcel.* — L'huile ne montant par capillarité qu'à une faible hauteur, pour pouvoir placer le bec à la partie supérieure, on dut recourir à un mécanisme spécial produisant l'ascension du liquide. La première lampe mécanique est due à Carcel (1800); elle est encore employée de nos jours dans les laboratoires. Le mécanisme n'est pas apparent ; il est tout entier contenu dans le fond du réservoir qui a la forme d'un cylindre vertical. Il comporte deux parties principales : le *générateur* et le *moteur*.

Le générateur n'est autre qu'un mouvement d'horlogerie qui se remonte au moyen d'une clé carrée. Un petit taquet extérieur agissant sur le mouvement permet de l'arrêter momentanément. Le moteur est formé par une pompe à double effet qui aspire l'huile du réservoir et la refoule d'une manière continue dans un tube traversant le récipient et allant jusqu'au bec. Tout le mécanisme est placé dans un double fond facile à visiter. Le bec est à double courant d'air. Le porte-mèche est soudé à une crémaillère engrenant avec un pignon mû par une clé. Il est muni de trois ressorts à griffes qui servent à appuyer la mèche contre le cylindre intérieur et à l'entraîner. Lorsqu'on remonte complètement le porte-mèche au-dessus du bec, les ressorts s'écartent, laissant un espace vide pour mettre ou retirer la mèche. Une cheminée en verre coudée se place au-dessus du bec. Quant à l'arrivée de l'air, elle est assurée par une galerie ajourée reposant sur le réservoir ; le bec étant fixé au-dessus de ce dernier par son tube d'alimentation, l'air accède librement à la flamme.

La lumière fournie par une carcel consommant 42 grammes à l'heure sert d'unité d'intensité lumineuse; l'appareil, dans ces conditions, doit avoir des dimensions parfaitement déterminées, comme l'indique la figure 9.

La mèche, dite mèche des phares, est formée de 75 brins;

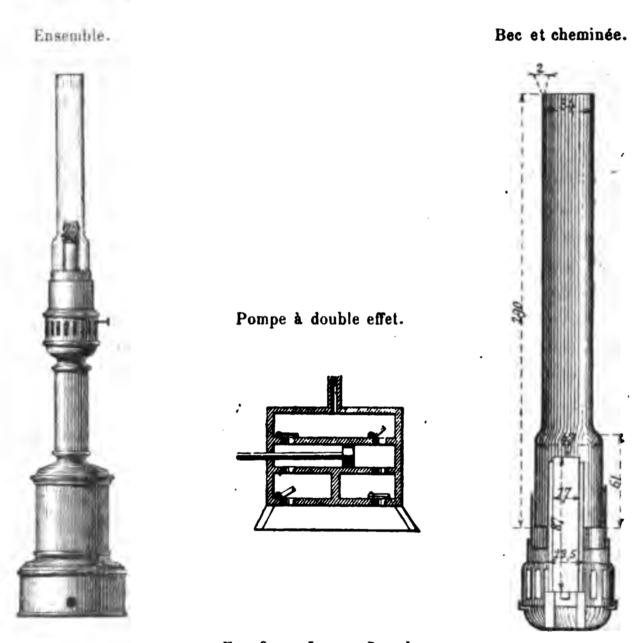


Fig. 9. — Lampe Carcel.

elle pèse 3gr,6 au décimètre de longueur. La lumière obtenue est très constante. Grâce à l'excédent d'huile élevée par la pompe, la mèche ne peut se carboniser. Les essais photométriques avec cette lampe exigent de grands soins : remplacement de la mèche, remplissage du réservoir, détermination exacte de la hauteur de la mèche (10 millimètres après chaque opération). Cet appareil, à peu près parfait, a contre lui son prix élevé.

Pour atténuer cet inconvénient, un grand nombre de sys-

tèmes ont été imaginés depuis; la principale modification a porté sur le mécanisme. Dans la lampe *Gagneau*, dont le fonctionnement est le même, le moteur a été réduit : deux pistons mus directement par le mouvement d'horlogerie, agissent sur des parois mobiles dans le fond du cylindre pour refouler l'huile au bec. Cette lampe a les avantages de la carcel, mais elle coûte encore fort cher.

Lampe modérateur. — Franchot a résolu le problème de la lampe mécanique à un prix abordable avec sa lampe modérateur. Elle comporte deux organes principaux, le *moteur* et le *modérateur*.

Un ressort en fil de fer ou d'acier *r*, contourné en double spirale, actionne un piston *p* glissant à l'intérieur d'un corps de pompe *a* formant réservoir d'huile: c'est le moteur. Le piston monté sur une tige creuse *c* est formé par un disque de cuir *b* embouti vers le bas et serré entre deux plaques de métal (*fig.* 10).

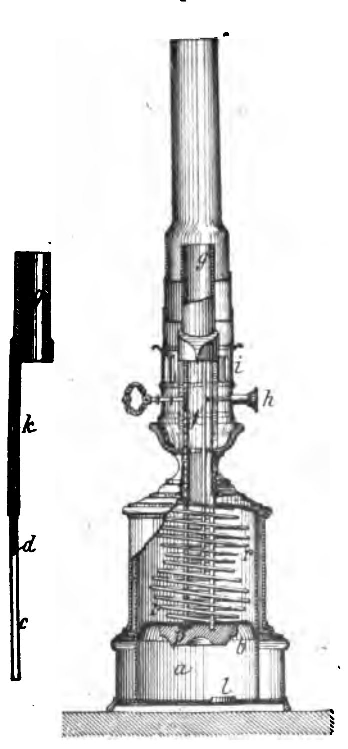


Fig. 10. — Lampe modérateur.

Le ressort prend son point d'appui contre le haut du réservoir en forme de cuvette; en se détendant, il pousse le piston vers le bas. Ce dernier comprime alors l'huile, qui n'a d'autre issue que la tige creuse en communication avec le bec. La pression du ressort, qui est très énergique, n'est pas constante, on est donc obligé de régulariser l'ascension du liquide.

Dans ce but, la tige du piston coulisse dans un second tube extérieur *k* soudé au bec *g*, qui porte, en outre, une aiguille pleine *d* placée suivant l'axe de la tige du piston. Lorsque le piston est en haut de sa course, l'aiguille, ou modérateur, s'enfonce complètement dans le tube d'ascension, ne laissant passer que fort peu de liquide. A mesure que le ressort se détend, le modérateur restant fixe dégage la tige creuse ; l'huile monte de plus en plus facilement jusqu'à la fin de la course.

On remonte le piston au moyen d'une crémaillère *f* mue par un pignon avec clé extérieure *h*. Cette opération peut se faire pendant le fonctionnement de l'appareil. L'emplissage du réservoir a lieu par la cuvette; l'huile s'accumule au-dessus du piston. En le remontant, le cuir embouti se rabat et laisse entrer le liquide dans le corps cylindrique; toute l'huile est passée lorsqu'on entend le bruit de l'aspiration de l'air. Tout le liquide envoyé au bec n'est pas brûlé, une partie sert à refroidir le brûleur et retombe dans la cuvette. Dans le fond du réservoir on a monté un trou de vidange *l* pour le nettoyage de l'appareil qu'il faut faire assez souvent.

Le bec à double courant d'air est identique à celui de la lampe Carcel. Les prises d'air se font par une galerie ajourée *i* reposant directement sur la cuvette. Dans l'appareil de Franchot, les deux courants intérieur et extérieur ne sont pas distincts ; dans la lampe Hardon, dérivée de la précédente, au contraire, ils sont séparés; on peut ainsi doser la quantité nécessaire à chacun d'eux. Grâce à cette disposition, la cheminée coudée du début a pu être remplacée par une cheminée droite; la lumière obtenue est plus brillante et plus blanche.

La contenance d'un réservoir est d'environ 910 grammes d'huile; la consommation horaire d'un bec de 30 millimètres de diamètre étant de 45 grammes, on voit que la durée de vingt heures est plus que suffisante pour les besoins courants. Il est vrai qu'il faut remonter le piston à certains intervalles. La lumière, très douce et très agréable, ne fatigue pas la vue, elle est très riche en radiations rouges, ce qui justifie la faveur dont elle jouit.

10. Organes des lampes. — *Bec.* — Pour qu'une lampe fonctionne bien, il faut que tous ses organes soient établis avec soin. Il y a fort peu de chose à dire sur le bec plat; la seule condition est de permettre l'arrivée de l'air en quantité aussi grande que possible. Quant aux dimensions, elles dépendent surtout de l'intensité de lumière à obtenir, et cette dernière est sensiblement proportionnelle à la consommation. Un bec plat de 15 millimètres de largeur consomme 13 grammes et donne $0^{carc},23$.

Les dimensions à donner au bec rond ne sont pas basées sur des règles fixes, on n'a guère que les données de la pratique, en partie résumées dans le tableau ci-dessous.

TYPE DE LAMPE	DIAMÈTRE EXTÉRIEUR	CONSOMMATION horaire	INTENSITÉ MOYENNE horizontale
Lampe modérateur.	7 lig. ou $15^{mm},8$	$17^{gr},6$	$0^{carc},230$
	9 — 20 ,3	21 ,31	0 ,576
	11 — 24 ,8	29 ,33	0 ,764
	13 — 29 ,4	37 ,02	0 ,948
Lampe Hardon....	14 — 31 ,6	45 ,00	»
Lampe Gagneau ...	11 — 24 ,8	60 ,00	»
	14 — 31 ,6	80 ,00	»
Lampe Carcel......	10 — 22 ,6	42 ,00	1 ,000
Bec rond (Nord)....	11 — 24 ,8	32 ,00	0 ,70

L'épaisseur du bec, c'est-à-dire l'intervalle dans lequel se place la mèche, a une importance considérable, surtout dans le cas des lampes à niveau constant où le liquide s'élève par capillarité. D'après Péclet, la hauteur que peut atteindre l'huile dans des espaces annulaires de diverses dimensions est la suivante :

Largeur	Hauteur	Largeur	Hauteur
$0^{mm},5$	$13^{mm},60$	$4^{mm},00$	$1^{mm},70$
1 ,0	6 ,10	5 ,00	1 ,26
2 ,0	3 ,40	6 ,00	1 ,13
3 ,0	2 ,26	»	»

Il y aurait intérêt à prendre la largeur aussi faible que possible, mais alors la moindre inégalité dans cette dimen-

sion fait varier l'ascension, et la mèche se carbonise aux points faibles ; de plus, le nettoyage devient très difficile.

Les deux cylindres qui forment le bec n'ont pas la même hauteur : la paroi intérieure doit être plus élevée ; le métal, étant bon conducteur, absorbe la chaleur et empêche la mèche de charbonner ; de plus, l'huile, arrivant en excès, forme un bourrelet qui se déverse le long du cylindre extérieur et le refroidit.

Les becs se font en cuivre ou en fer-blanc avec soudure latérale ; mais, depuis plusieurs années, on emploie des tubes emboutis.

Mèche. — La mèche est formée par un tissu croisé en coton et soie, son diamètre est désigné par un numéro correspondant à celui du bec. Le tissu ne doit être ni trop lâche ni trop serré, car, dans ce dernier cas surtout, la capillarité s'exerce mal.

La mise en place de la mèche doit se faire soigneusement; le moyen le plus simple consiste à l'enfoncer sur un mandrin en bois qu'on emmanche sur le bec ; il suffit ensuite de la faire glisser jusqu'aux griffes du porte-mèche, puis de couper les bords très régulièrement après avoir retiré le mandrin.

Pour obtenir le maximum de lumière, il faut élever la mèche aussi haut que possible, c'est-à-dire jusqu'à ce que la flamme devienne constante, sans fumer, bien entendu.

Les mèches doivent être conservées à l'abri de la poussière et de l'humidité qui ont pour effet de diminuer la capillarité.

Cheminée. — La cheminée, formée par un cylindre en verre, a pour but d'activer le tirage et de donner à la flamme une grande fixité. Le plus souvent ce cylindre présente un coude vers la base de manière à diriger le courant d'air sur la flamme ; il n'agit qu'autant qu'il est placé à une hauteur convenable ; trop haut ou trop bas, il fait fumer. Aussi, quel que soit le type de lampe, le porte-verre doit pouvoir se déplacer de manière à obtenir la hauteur de coude voulue.

La hauteur de la cheminée et son diamètre au-dessus du coude sont deux dimensions importantes. Le tirage dépend de la hauteur ; plus il est actif, plus brillante est la flamme,

mais son volume diminue ; il y a une vitesse limite, celle où le courant d'air, n'ayant plus le temps de s'échauffer, amène l'extinction de la flamme. On doit pouvoir modifier à volonté la hauteur de la cheminée. Dans les lampes à niveau, en général, un mouvement de rotation imprimé au godet fait monter plus ou moins la cheminée. Dans les lampes mécaniques le porte-verre est formé par un cylindre à trois fentes verticales qui lui permettent d'agir comme un ressort et de serrer la cheminée au point voulu. Ce dernier système a, en outre, l'avantage de permettre la libre dilatation du verre.

Le diamètre au-dessus du coude doit être aussi faible que possible : les produits de la combustion s'échappent plus difficilement et, pour une lumière déterminée, on a une consommation plus faible ; mais les cheminées étroites s'échauffent plus vite et cassent facilement. L'avantage d'un diamètre réduit se démontre en perçant un trou sur la cheminée au niveau de la flamme ; on voit cette dernière devenir plus blanche, et l'on constate que la consommation n'a pas augmenté.

On pourrait, même avec un diamètre important, ralentir l'échappement des produits de la combustion en plaçant au-dessus de la cheminée un obturateur, mais ce procédé n'a pas prévalu, la chute de cet accessoire entraînant presque toujours le bris du verre.

Voici les dimensions des cheminées les plus employées :

	BEC	HAUTEUR	DIAMÈTRE INTÉRIEUR au haut de la cheminée
	millimètres	millimètres	millimètres
Carcel	23,5	290	34
Lampe modérateur	29,5	300	30
	30,2	300	32
Hardon	30,2	240	32
Bec rond (Nord)	24,5	220	24

Les cheminées se font, le plus souvent, en verre double ou en cristal. Ces dernières, quoique coûtant plus cher, sont préférables à cause de leur durée.

Le nettoyage des cheminées se fait au plâtre fin, qui absorbe l'humidité et les corps gras. On frotte ensuite avec un goupillon, sans crainte de rayer le verre, enfin on essuie avec un chiffon propre très sec.

Les autres parties de la lampe se nettoient avec un chiffon que l'on fait pénétrer dans tous les angles avec un bout de bois; il faut avoir bien soin surtout de ne rien laisser dans le courant d'air intérieur.

CHAPITRE II

TRAITEMENT DES HUILES MINÉRALES

§ 1. — Exploitation des gisements

11. Gisements. — Le pétrole, ou huile de pierre, se rencontre en quantité variable à peu près sur toute la surface du globe. Il existe sous trois formes distinctes : à l'état de liquide très volatil (huile de naphte), de liquide stable à la température ordinaire (pétrole proprement dit), et enfin à l'état semi-solide ou complètement solide (asphalte).

Il y a deux grands centres de production : les États-Unis et la Russie. Les dépôts se trouvent plus particulièrement dans le voisinage des grandes montagnes, le long des arêtes principales des monts Alleghanys en Pensylvanie et du Caucase. De 1859 à 1875, la Pensylvanie a fourni presque totalement le pétrole employé ; la majeure partie provenait du bassin de Bradfort, de la contrée de Crawford et de la vallée de l'Oil-Creek. Depuis, d'autres États, ceux de l'Ohio, de la Virginie-Ouest, du Colorado, ont apporté un contingent important. Tout le pétrole d'Amérique est constitué par de l'huile de naphte ; quelques gisements donnent même du gaz naturel en quantités considérables (gaz naturel de Pittsburg). Le forage des puits atteint des profondeurs importantes, 200 à 300 mètres.

Au contraire, les gisements du Caucase sont plus riches en huiles lourdes. La partie la plus productive se trouve dans la presqu'île d'Apchéron sur la Caspienne, dont le centre est le port de Bakou. Sur une surface de 1 kilomètre carré on rencontre plus de 400 puits. La profondeur moyenne de ceux-ci est de 150 mètres seulement. L'exploitation des pétroles russes s'est surtout développée depuis 1872.

On trouve du pétrole le long des Karpathes, en Roumanie et en Galicie ; la couche est très riche en huile lampante, mais les puits de cette région s'épuisent très vite. L'Allemagne renferme quelques gisements peu importants. En Alsace, il convient de citer la concession de Pechelbronn. En France, en dehors de la fontaine de Gabian (Hérault), il n'y a guère que les dépôts d'asphalte d'Autun et d'Alais et les calcaires bitumineux de l'Ain.

12. Extraction aux États-Unis. — Le forage des puits aux États-Unis se fait au moyen d'un outil de forage ou trépan suspendu à l'extrémité d'un câble qu'on laisse tomber d'une certaine hauteur pour désagréger la roche. Cet outil de forage est en plusieurs pièces en acier assemblées entre elles; l'ensemble pèse près d'une tonne. Le câble peut s'enrouler autour d'un treuil pendant l'ascension ; il suffira ensuite de le laisser se dérouler sous son propre poids pour produire le choc. On procède ainsi pour le sondage, c'est-à-dire sur 80 mètres de profondeur environ. Le treuil est ensuite remplacé par un balancier, à l'extrémité duquel on attache le câble *a* (par l'intermédiaire d'une vis *b* avec griffes *c* dont l'avancement progressif, au moyen du volant *v*, permet la descente lente du trépan (*fig.* 11).



Fig. 11. — Avancement du câble.

La roche, en se brisant, produit des déchets qu'on enlève au moyen de la pompe à sable, qui n'est autre qu'un cylindre en fer muni dans le bas d'une soupape à tige. Cet outil de curage s'enroule autour d'un second treuil spécial. En laissant tomber la pompe, la tige de la soupape heurte le fond, se soulève, et le tube se remplit des détritus qu'il est facile de remonter ensuite.

Au fur et à mesure de l'avancement du forage, il est nécessaire de maintenir les parois : on se sert de tubes métalliques qu'on enfonce au moyen d'un mouton, en ayant soin de protéger la tête des tubes par un chapeau en fer.

Lorsqu'on est arrivé au gisement pétrolifère, pour retirer le trépan, il suffit de remplacer le balancier par le treuil de sondage qui sert à enrouler tout le câble. Tous ces appareils sont mus par la vapeur au moyen de transmissions souples. Il faut compter pour un forage sur une puissance de 12 à 13 chevaux. Les diverses poulies de renvoi sont placées sur un échafaudage en bois ou derrick (*fig.* 12), établi d'une façon très sommaire. Le diamètre des puits à l'orifice varie de 1m,50 à 2 mètres, il va sans cesse en diminuant jusqu'à la nappe liquide où il atteint quelques centimètres seulement ; quant à la profondeur qui constitue l'élément important de la dépense, elle atteint parfois 600 mètres, la moyenne étant de 300 mètres.

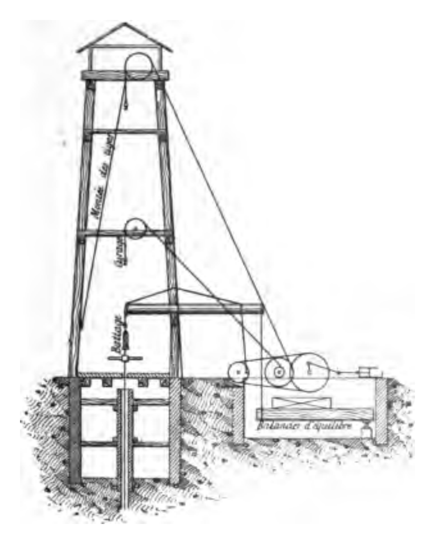


Fig. 12. — Derrick.

Souvent le trépan se brise dans le puits, et il devient impossible de le retirer : l'opération est à recommencer. D'autres fois, au lieu d'une roche dure et résistante, on rencontre une nappe d'eau. Pour empêcher l'infiltration, au point de séparation des couches de terrain, on termine le tubage soit par un joint à la graine de lin qui n'est autre qu'une poche pleine de graines formant en se dilatant joint étanche, soit au moyen d'un bourrelet en cuir muni d'un

manchon mobile que la pression de l'eau appuie contre la paroi (*fig.* 13).

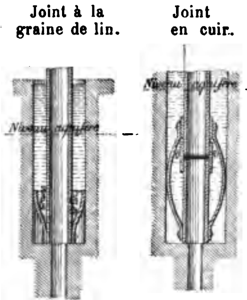


Fig. 13. — Infiltration d'eau.

Lorsqu'on arrive au gisement, l'huile peut s'échapper sous forme de gerbe jaillissante atteignant plusieurs mètres de hauteur ; on la recueille alors dans des bassins établis à la hâte. Une fois cette éruption passée, comme du reste dans la plupart des cas, il faut recourir à des pompes pour aspirer le liquide. Le corps de pompe, formé par une série de tuyaux en bronze, ne mesure que quelques centimètres de diamètre, 5 à 6 : il se loge à l'intérieur du puits. Le piston est constitué par des rondelles en cuir (*fig.* 14); il porte en son milieu une soupape à boulet pour le refoulement; la soupape d'aspiration se trouve établie dans les mêmes conditions au bas de la pompe. On ferme complètement l'orifice supérieur du puits en ayant soin de ménager une conduite spéciale pour l'échappement des gaz combustibles, un deuxième tuyau sert à l'écoulement de l'huile. Le mouvement du piston est obtenu avec le balancier.

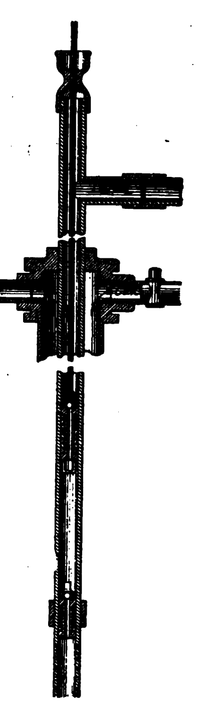


Fig. 14.—Pompe élévatoire.

Quand le débit vient à diminuer, on peut essayer de l'augmenter en disloquant la roche au moyen de cartouches de dynamite. Elles sont formées par des tubes d'étain remplis de nitroglycérine que l'on descend dans le trou du sondage ; il suffit de laisser tomber dessus une masse de fonte pour produire l'explosion. On peut arriver ainsi à

augmenter pour quelque temps le débit de la source de pétrole. Il faut avoir soin de remblayer avec du sable les puits asséchés pour empêcher leur envahissement par les eaux.

13. Extraction au Caucase. — Le procédé à la corde ne saurait être employé au Caucase, car l'outil de forage, par suite de l'inclinaison des couches du terrain, serait dévié. Le sondage se fait donc au moyen de tiges rigides assemblées entre elles. Elles sont attachées à leur partie supérieure au balancier par l'intermédiaire d'un crochet à anneau tournant. Il est très facile, au fur et à mesure du forage, d'ajouter de nouvelles tiges sans avoir à remonter tout le système. Le diamètre à l'origine n'est que de quelques centimètres, $0^{m},25$ à $0^{m},42$; il est vrai que la profondeur est moindre que précédemment : le plus souvent 200 mètres, rarement 300. Le tubage, au contraire, est plus important en raison de la facilité d'éboulement des couches de sable que l'on rencontre ; les tubes mesurent 2 mètres de long et 3 à 5 millimètres d'épaisseur.

Le dégagement de l'huile se faisant presque toujours avec violence, on utilise pour le régulariser un robinet-vanne ou *kalpack*. Il consiste essentiellement en un tronçon de tube en fonte muni d'un clapet à tiroir manœuvré horizontalement au moyen d'une tige extérieure. On assemble le kalpack sur le dernier tube posé. Si un jaillissement brusque vient à soulever la sonde, il suffit de fermer le tiroir pour capter la source. Le jet régularisé est alors dirigé horizontalement au moyen d'un tuyau coudé très épais, 7 à 8 centimètres, à cause de l'usure produite par les matières qui accompagnent l'huile.

Lorsque le liquide ne s'élève pas jusqu'à la surface du sol, au lieu de pompe on emploie une sorte de chaîne à godets ou *jelonka*, recevant de la machine à vapeur un mouvement alternatif. La capacité d'un godet est de 120 à 200 litres d'huile (3 mètres de haut $\times$ $0^{m},250$ de diamètre). Les godets sont munis, dans le fond, d'un clapet qui se soulève à la descente pour laisser pénétrer le liquide et se referme à la montée.

Le débit des puits, aussi bien au Caucase qu'en Amérique, est très variable ; quelques-uns donnent régulièrement

100 mètres cubes d'huile par jour ; d'autres, au contraire, se tarissent presque instantanément.

Le forage d'un puits est assez coûteux : il revient en moyenne à 50.000 francs.

D'une manière générale, lorsque des gaz sont retenus en dissolution ou accumulés à une pression susceptible de produire des fontaines jaillissantes, on a intérêt à les recueillir. Ces gaz, en effet, constituent un excellent combustible, connu plus particulièrement sous le nom de *gaz naturel*, qu'on peut, comme à Pittsburg, faire servir à un grand nombre d'usages.

14. Transport du pétrole. — Le pétrole à sa sortie des puits est recueilli dans de grands réservoirs, où se déposent les eaux douces ou salées, et les matières minérales ou végétales qui accompagnent les dégagements. De là, il est envoyé aux raffineries. Le mode de transport peut s'effectuer de différentes façons.

On emploie des fûts en bois d'une contenance de 180 à 200 litres, aussi étanches que possible, ou des barils en papier comprimé cerclés en fer et sans joints ; mais ces divers récipients, d'une contenance trop faible, nécessitent une trop grande manutention. Avec les wagons ou bateaux-citernes, on augmente de beaucoup la quantité transportée. Les wagons-citernes sont formés par des réservoirs cylindriques en tôle montés sur un truck métallique ; le poids transporté est de 10 tonnes environ. Les bateaux-citernes, d'un emploi très commode, ont leur cale divisée en trois parties par des cloisons longitudinales, de manière à les empêcher de chavirer par les gros temps ; ils peuvent contenir 4 à 5.000 tonnes d'huile minérale.

Un troisième procédé, imaginé d'abord pour les faibles parcours, est celui des pipe-lines. Il consiste en un réseau de conduites métalliques faisant communiquer les réservoirs entre eux. L'écoulement peut être obtenu soit par la pesanteur, en donnant une inclinaison à la canalisation, soit au moyen de pompes spéciales. Ce mode de transport s'est très généralisé ; il réduit de beaucoup la main-d'œuvre. Toutes les raffineries de Pittsburg, New-York,

Baltimore, etc., sont alimentées de cette façon. Une première canalisation amène le pétrole des puits d'extraction à une première station de réservoirs; d'où il est repris par des pompes Worthington pour être dirigé sur une deuxième station, et ainsi de suite. Le port de Bakou reçoit, de cette façon, l'huile des puits. Il devient alors très facile de procéder au chargement des bateaux ou des wagons. Il arrive parfois qu'une conduite s'encrasse; on engage alors dans le tube une brosse conique en fil d'acier qui, entraînée par le courant de pétrole, nettoie le tuyau. Le diamètre de ces pipe-lines varie de 0m,150 à 0m,05; la ligne la plus longue est celle du bassin de New-York, elle mesure 714 kilomètres.

Quel que soit le mode de transport du pétrole, il ne faut pas oublier qu'il est très dilatable et, par suite, qu'on doit ménager toujours un certain vide dans le récipient qui le contient.

15. Origine du pétrole. — Suivant les uns, il serait le résultat de la décomposition d'animaux et de végétaux de l'époque de la houille, hypothèse paraissant justifiée par la présence d'eau salée dans les gisements; mais des expériences récentes viennent la démentir; il ne se forme jamais d'huile minérale dans la décomposition d'un corps organique ; de plus, ce liquide détruit les ferments.

Sa ressemblance avec les huiles extraites de la houille et les différents gisements pouvait faire supposer que son origine était identique. Il proviendrait de la distillation de la houille sous l'action du feu central. Les sources jaillissantes et communiquant entre elles viendraient à l'appui de cette théorie. Malheureusement elle n'explique pas les dépôts antérieurs au terrain houiller.

La troisième hypothèse, qui est la plus récente, se trouve confirmée par l'existence des sources à grand débit permanent. Elle est basée sur une série de réactions chimiques et en particulier sur la décomposition de l'eau par les carbures métalliques qui donne des hydrogènes carburés et des oxydes. Jusqu'à présent, aucun fait n'est venu combattre cette théorie qui est la plus répandue.

§ 2. — Raffinage de l'huile minérale

16. Propriétés. — *Caractères physiques.* — Toutes les huiles minérales sont caractérisées par une odeur spéciale assez désagréable. Leur couleur varie du jaune clair au brun foncé; elle est toujours fluorescente, c'est-à-dire présentant une teinte verdâtre à la lumière réfléchie. Leur densité est très variable: elle oscille entre 0,765 et 0,970, mais elle sert déjà à différentier les provenances; les pétroles d'Amérique pèsent 0,800 à 15°; ceux du Caucase, 0,830 en moyenne. Soumis à l'action de la chaleur; ils se dédoublent en une série de produits dont le degré de volatilité est très différent. Cette séparation est très difficile, car tous ces composants se mélangent très bien entre eux; c'est cependant sur cette propriété qu'est basé le raffinage de l'huile minérale.

La dilatation du pétrole est considérable. Le coefficient est compris entre 0,000697 et 0,000858; on peut dire qu'il varie en raison inverse de la densité. Le caractère le plus saillant est son degré d'inflammabilité, c'est-à-dire la propriété qu'il a de prendre feu au contact d'un corps incandescent: quelques-uns, comme le pétrole russe, ne s'enflamment qu'à 35° et au delà; d'autres, comme celui d'Amérique, prennent feu à la température ordinaire, ce qui revient à dire qu'ils sont plus riches en carbures volatils.

L'huile minérale dissout les corps gras, le caoutchouc; un grand nombre de ses dérivés sont du reste employés à cet usage. Mélangée à l'eau, elle surnage; de là, l'obligation de ne jamais essayer d'éteindre la flamme avec ce liquide et de recourir plutôt à un corps incombustible, comme le sable, les cendres. Au point de vue de la viscosité, il y a des différences sensibles également entre les diverses provenances. On se sert quelquefois de cette propriété pour différentier les pétroles.

Propriétés chimiques. — Les recherches de Sainte-Claire Deville ont montré que les pétroles étaient un composé de

carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Leur composition moyenne en centièmes est de :

83,5 à 85 de carbone
12 à 14 d'hydrogène

et le reste en oxygène, car il y a peu ou pas d'azote. Cette présence de corps combustibles en majorité explique leur puissance calorifique élevée : 10.000 calories. A poids égal l'huile minérale dégage environ une fois et demie autant de chaleur que la houille de première qualité.

17. Essai des huiles brutes. — D'après la loi du 30 juin 1893 il existe, au point de vue fiscal, trois sortes de pétrole : les bruts, les raffinés et les huiles de graissage. Toute huile minérale ne contenant pas plus de 30 0/0 de produits lampants est considérée comme huile de graissage ; de même, celle qui n'en renferme pas plus de 90 0/0 et qui n'est pas susceptible, dans l'état où elle est, de brûler dans les lampes ordinaires, est admise comme brute. De là, la nécessité d'essayer les huiles à leur arrivée.

On détermine d'abord les caractères généraux : couleur, odeur, densité à 15° et inflammabilité. Elle doit mal brûler dans une lampe spéciale. Cet essai comporte quelques observations. La lampe que l'on emploie reçoit, sur la gaine du bec, une boîte carrée en fer-blanc munie sur chaque face d'une fenêtre divisée dans le sens de sa hauteur par un réticule horizontal. Les fenêtres et les réticules servent à mesurer les dimensions de la flamme. Le réservoir doit être rempli exactement de 500 centimètres cubes d'huile traitée préalablement par l'acide sulfurique. Ce traitement s'obtient en mélangeant 600 grammes d'huile minérale et 30 grammes d'acide; le mélange agité est décanté et filtré. Quant à la mèche de la lampe, elle mesure exactement 20 centimètres de longueur, elle doit être desséchée à 100°. On allume avec soin la lampe, en donnant à la flamme la hauteur nécessaire pour que la pointe arrive dans le plan formé par les bords supérieurs des deux fenêtres. A partir de ce moment, on laisse brûler l'appareil pendant quatre heures et, avant

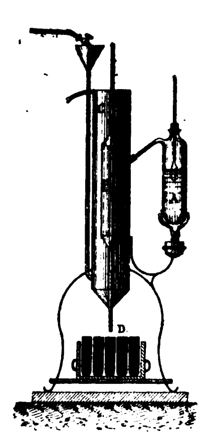
d'éteindre la flamme, on mesure sa hauteur par rapport aux réticules. Il suffira de déterminer exactement le poids pour avoir la quantité d'huile brûlée en quatre heures. On arrive aux résultats suivants :

Pour les pétroles d'Amérique : densité, de 0,780 à 0,805; inflammables à la température ordinaire ; consommation à la lampe, très voisine de 90 grammes;

Pour les pétroles russes : densité, supérieure à 0,830; inflammabilité, au-dessus de 35°; et consommation à la lampe, au plus égale à 110 grammes.

On peut encore faire l'essai d'une huile minérale en la soumettant à une distillation se rapprochant autant que possible de celle du raffinage; mais la quantité sur laquelle on opère étant trop petite (300 grammes), on se contente d'une seule distillation à 350°. On détermine, au bout d'une demi-heure, la quantité A de produits volatilisés au-dessus de 350°, qu'on diminue d'une quantité *a* égale à 5 0/0 de A, représentant le déchet des produits volatils; B étant le poids du résidu, on le diminue également d'une proportion *b* égale à 18 0/0 de B, déchets des produits lourds. Comme on opère sur 300 grammes, le rendement pour 100 sera :

$$\frac{100(A - a + B - b)}{300} = R.$$



A, Cornue à pétrole.
B, Condensateur.
C, Réfrigérant.
D, Eprouvettes.

Fig. 15. — Appareil distillatoire.

Dans le cas de pétrole russe on fait B et *b* égal à 0, *a* devient 2 0/0 de A.

Ces résultats concordent avec ceux de la raffinerie. L'opération se fait dans un appareil spécial (*fig.* 15). Dans l'industrie on fait l'essai en distillant 600 centimètres cubes dans des cornues en cuivre ou en fer. On fractionne l'essai en 20 parties, chaque partie correspondant à une durée fixée à l'avance. On détermine les températures extrêmes de chaque fractionnement dont on mesure la densité. On dresse ensuite un tableau ou une

courbe des résultats obtenus qui contient alors tous les renseignements sur le rendement de l'huile comparativement à des tableaux et des courbes établis à l'avance.

18. Fractionnement des pétroles par la chaleur. — La chaleur a pour effet de séparer les divers carbures qui composent l'huile minérale ; en France, au point de vue industriel, les carbures sont classés en trois groupes : les *essences*, l'*huile lampante* et les *huiles lourdes*.

Les proportions de ces trois groupes ne sont pas fixes pour des huiles différentes ni pour celles de provenance identique. On peut arriver, en variant l'opération, à obtenir des chiffres différents avec la même huile. Le plus souvent, les produits de premier jet sont traités à nouveau, et c'est avec les divers résidus mélangés ensuite qu'on obtient les produits commerciaux. Le tableau suivant, dû à M. Bourgougnon, résume les fractionnements du pétrole sous l'action de la chaleur, après certains mélanges préalables.

			Produits	Densité	
Huile minérale brute	Essence brute 1er jet		Gazoline	0,640 à 0,670	
			Essence à détacher	0,690	
	Benzine brute	Essence brute	Essence rectifiée	0,705	éclairage et chauffage
		Rectifié léger	Essence lavée	0,720	
	Rectifié de 1er jet		Pétrole épuré	0,795 à 0,800	
	Résidu des huiles lourdes	Rectifié de 2e jet			
		Pétrole lourd n° 2	Pétrole lourd n° 1	0,845 à 0,850	
			Pétrole lourd n° 2	0,850	
			Huile à paraffine	0,870	
		Goudron n° 2	Combustible.		
		Coke et brai			

Sous l'action de la chaleur, quelques hydrocarbures lourds se décomposent en fournissant des liquides plus légers. Ce phénomène, connu sous le nom de *cracking* ou *brisement*, n'est pas une simple séparation, mais bien une dissociation qu'on utilise dans le raffinage, car elle permet de retirer des huiles lourdes une certaine quantité d'huile lampante.

Généralement, on considère comme *essences* ou *benzines* tout ce qui distille jusqu'à 150°; ce sont les produits volatils par excellence dont la densité est voisine de 0,700, mais ne doit jamais dépasser 0,750.

L'huile *lampante* comporte les carbures passant à la distillation entre 150 et 280°. Dans bien des cas et même presque toujours, c'est la partie importante de la fabrication.

Au-dessus de 300°, le résidu constitue le goudron ou mazout (pétrole russe). C'est un produit riche en huiles de graissage, en paraffines, etc., dont la valeur, à certaines époques, dépasse celle de l'huile lampante. Ce résidu devra subir un traitement spécial, suivant le cas, pour pouvoir obtenir ces dérivés; sa densité est voisine de 0,850.

Quant à la proportion de ces trois groupes, elle varie avec la provenance de l'huile : le pétrole d'Amérique, très riche en huile lampante, renferme une certaine quantité d'essences et peu d'huile lourde; par contre, celui du Caucase donne beaucoup d'huiles lourdes, un tiers d'huile lampante et presque pas d'essences.

Voici, du reste, la proportion en centièmes de ces deux huiles minérales :

PÉTROLE D'AMÉRIQUE	P. 100	PÉTROLE DU CAUCASE	P. 100
Essences.......	8 à 20	Essences..................	3
Huile lampante.	78 à 70	Huile lampante ou Kerosène.	35
Huiles lourdes..	9 à 3	Mazout....	60
Pertes.........	5 à 7	Pertes.....................	2

19. Raffinage. — Le mode de travail varie d'une usine à l'autre et dépend de la nature du produit à traiter. Il arrive, en effet, qu'on peut avoir affaire à de l'huile brute ou à un mélange d'une huile déjà rectifiée à laquelle on a ajouté une certaine quantité d'huile brute ou d'huile lourde. C'est plus particulièrement le cas des huiles du Caucase qu'on distille d'abord sur place, et qu'on expédie en France ou en Autriche, après y avoir ajouté environ 10 0/0 de mazout.

Distillation. — La distillation s'opère dans des chaudières A en tôle d'acier formées par des cylindres horizontaux ou verticaux d'un diamètre de 4 mètres environ sur 9 mètres de longueur, et d'une épaisseur de tôle de 10 à 14 millimètres. Elles sont encastrées dans des massifs en maçonnerie laissant libre la partie supérieure. On les adosse par batteries de trois,

quatre et même davantage, de manière à rendre la distillation continue sans perte de chaleur. Elles sont munies des orifices nécessaires pour l'arrivée du pétrole brut *a*, le départ des produits condensés *b* et la vidange des huiles lourdes *c* (*fig.* 16), Souvent une tuyauterie spéciale *g* permet l'introduction de vapeur qui a pour effet de modifier avantageusement la couleur et l'odeur des produits distillés, surtout quand il s'agit

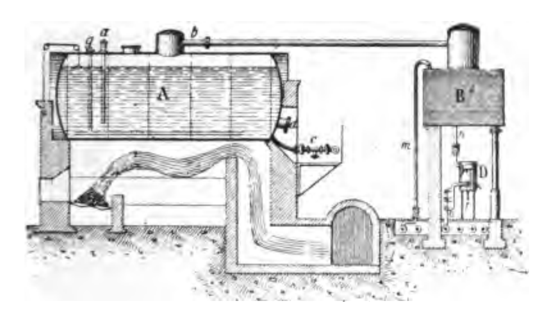


Fig. 16. — Raffinage de l'huile minérale.

d'huile provenant du cracking. Le chauffage des chaudières se fait à la houille, au coke ou aux huiles lourdes. Au Caucase, on emploie presque exclusivement le mazout. On comprend, du reste, qu'on cherche à tirer le meilleur parti de tous ces combustibles naturels.

Le pétrole, contenu dans de grands réservoirs de 1.500 à 3.000 tonnes, est amené dans les chaudières. Le mode de chauffage pendant une opération n'est pas uniforme; il est subordonné aux diverses périodes de la distillation.

Condensation. — Les premiers gaz qui s'échappent sont formés de carbures volatils difficiles à condenser qu'on perd le plus souvent ou qu'on dirige sous la chaudière. Ceux qui les suivent, *essences* ou *benzines*, sont envoyés dans des condenseurs B où ils sont ramenés à l'état liquide. La conduite qui met en communication la chaudière et le condenseur a généralement 375 millimètres de diamètre. Les condenseurs sont formés par des tuyaux métalliques plongés dans des réservoirs

à circulation d'eau froide *m*. On peut n'avoir qu'un seul serpentin en fonte ou bien une série de tuyaux en fer (au moins 40) d'un diamètre assez faible (50 à 80 millimètres) aboutissant tous à un collecteur unique. Il faut compter pour 100 mètres cubes d'huile brute distillée, 15 à 20 mètres carrés de surface de condensation.

A la sortie *n* du serpentin, le liquide tombe dans un récipient en fonte D muni d'une glace *r* sur le côté, qui permet de voir la couleur des produits distillés; un robinet *t* sert à la prise d'échantillons pour déterminer leur densité. De ce récipient, au moyen d'une sorte de jeu d'orgues *u* comportant des robinets en conséquence, on peut diriger les produits dans des réservoirs différents.

Pendant la distillation des essences ou benzines, c'est-à-dire jusqu'à 150° environ correspondant à la densité de 0,755, s'il s'agit de pétrole de luxe, et de 0,730 pour le pétrole ordinaire, le chauffage doit se faire modérément; mais, lorsqu'on atteint l'un ou l'autre point, et qu'on recueille l'huile lampante, il faut pousser le feu avec activité de manière à produire le cracking, sans toutefois amener la décomposition des huiles lourdes; ce résultat s'obtient en prolongeant l'action de la chaleur.

Lorsqu'on arrive aux *huiles lourdes*, c'est-à-dire vers 300°, on arrête la distillation. Le liquide restant dans les chaudières est envoyé dans un récipient spécial où il devra séjourner plusieurs jours avant d'être soumis à un nouveau traitement; du reste, chacune des parties distillées est appelée à subir soit un nouveau fractionnement, soit une épuration spéciale avant d'être livrée au commerce.

La consommation en charbon varie naturellement suivant les produits à obtenir, mais il faut compter particulièrement pour les pétroles russes (mélange d'une première distillation et de mazout), 12 à 18 kilogrammes de charbon pour 100 kilogrammes d'huile lampante.

Examinons maintenant le traitement subi par chaque groupe en particulier.

20. Essences. — Les essences, connues plus particulièrement sous le nom de *benzines*, sont distillées à nouveau dans des

chaudières d'une capacité de 100 à 150 mètres cubes. Le chauffage peut se faire à feu nu ou à la vapeur. Ce traitement ne s'applique qu'aux produits du pétrole américain, ceux du Caucase ne donnant pas assez de composés volatils. Le plus souvent, les essences avant la distillation sont lavées à l'acide sulfurique et à la soude. Quelquefois le résidu de cette distillation est mélangé à l'huile lampante, mais ce procédé n'est pas employé pour la fabrication des pétroles de luxe. Le fractionnement des essences donne quatre dérivés :

	Densité		Degrés	P. 100
1° Le cymosène et le rhigolène.	0,630 à 0,636	gazeux		25
2° La gazoline ...	0,640 à 0,660	bouillant de	50 à 90	
3° Le naphte	0,670 à 0,720	—	80 à 110	20 à 25
4° La benzine	0,720 à 0,740	—	120 à 150	40

Pour un traitement de 100 à 150 mètres cubes d'essence, la durée de l'opération est de quarante-huit heures.

L'essence est un liquide très inflammable, par suite des vapeurs qu'elle émet à la température ordinaire. Sa manipulation, très délicate, doit être faite à l'abri des corps incandescents. Les produits de sa distillation ont des emplois très différents.

Les gaz liquéfiés servent à la fabrication de la glace. La gazoline est surtout employée à la carburation du gaz à l'air, au chauffage des fourneaux de cuisine, à la dissolution des résines et des corps gras. Le naphte a sensiblement les mêmes applications ; une variété, connue sous le nom de ligroïne, est utilisée dans les lampes à éponge. Enfin la benzine est le dégraissant par excellence.

21. Pétrole ou huile lampante. — *Epuration.* — Le pétrole à sa sortie du condenseur doit être épuré ; enflammé directement, il dégagerait une odeur forte et désagréable ; de plus, la flamme deviendrait fumeuse. L'épuration consiste en un traitement à l'acide sulfurique et à la soude. L'acide a pour but de décomposer les carbures trop riches et d'augmenter par ce fait la teneur en hydrogène. Pour faciliter la réaction,

il est nécessaire de soumettre le mélange à un mouvement continu que l'on obtient soit au moyen d'agitateurs mécaniques, soit par l'air sous pression à 1 ou 2 atmosphères traversant le liquide. Le réservoir en tôle doublée de plomb, d'une contenance de 200 mètres cubes, est disposé verticalement; il reçoit dans le fond une tuyauterie percée de nombreux orifices par où s'échappe l'air comprimé (*fig.* 17). L'acide nécessaire à l'épuration, à raison de 1 à 3 0/0, est envoyé en trois fois au moyen de l'air comprimé. Après chaque réaction, on sépare, au moyen d'un tuyau de vidange dans le fond du réservoir, les résidus qui se sont déposés sous forme de boue.

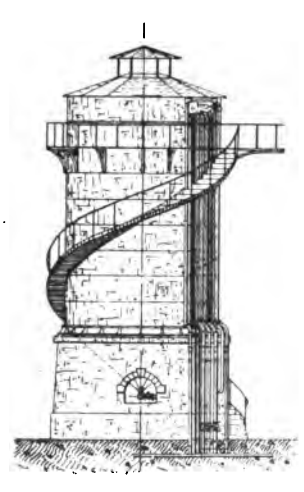


Fig. 17. — Agitateur à air comprimé.

L'opération est terminée lorsque le pétrole ne brunit plus, et que sa température qu'on doit maintenir dans le voisinage de 17°, n'augmente pas. La durée de l'épuration n'est que de deux heures environ.

Lorsque le battage à l'acide est terminé, le pétrole a une couleur jaune paille. On le lave d'abord à l'eau, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus trace d'acidité. C'est alors qu'intervient la solution de soude caustique à 12° B., qu'on introduit dans la proportion de 1 0/0; après une demi-heure d'agitation du mélange par l'air comprimé et un dernier lavage, l'épuration est terminée. Le raffinage du kerosène ou pétrole russe se fait de la même façon, la lessive de soude est à 30-33° B., et le lavage à l'eau a lieu avec une légère addition de soude (6° B.).

Propriétés. — L'huile lampante parfaitement limpide est recueillie dans de grands réservoirs en tôle peu profonds pour permettre à la masse d'être bien exposée à la lumière. Cette

dernière a pour effet de blanchir le pétrole, tout en lui donnant du brillant. Ce liquide est alors très clair, d'une couleur blanche ou légèrement jaunâtre ; son odeur est moins forte que celle du pétrole ordinaire. Lorsqu'il s'agit de pétrole d'Amérique, la densité à 15° varie entre 0,780 et 0,810 ; ne renfermant plus d'essence, il ne doit pas s'enflammer au-dessous de 35°. Essayé à la lampe-type (§ 17), la consommation doit s'élever, en quatre heures, à environ 150 grammes; de même le pétrole russe raffiné devra peser, à 15°, 0,825, s'enflammer au-dessus de 35°, et donner à la lampe une consommation voisine de 140 grammes. De plus, ils ne doivent renfermer que fort peu de composés sulfurés ou de sels de soude qui ont pour effet de carboniser la mèche.

En outre de ces caractères, il y en a un très important, l'*inflammabilité*, c'est-à-dire le degré de température auquel un pétrole commence à émettre des vapeurs susceptibles de s'enflammer. L'essai du point d'inflammabilité peut se faire de deux façons, suivant qu'on se propose de déterminer le degré de chaleur auquel les vapeurs mélangées à l'air font explosion et s'éteignent aussitôt (*point éclair*), ou bien celui où ces vapeurs prennent feu et continuent de brûler (*point de combustion*). Il y a deux séries d'appareils permettant cette détermination.

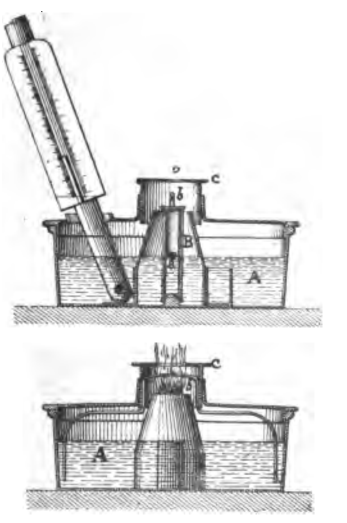


Fig. 18. — Naphtomètre Granier.

Degré d'inflammabilité. — L'appareil *Granier* (*fig.* 18), employé pour la fixation du point éclair, est formé par un cylindre en cuivre A, qu'on remplit de pétrole jusqu'au niveau d'un petit tube-déversoir *a*, placé excentriquement. Au

milieu se trouve un cône B sur lequel on fixe une mèche *b* plongeant dans le liquide. La boîte est fermée par un couvercle *c* muni d'un petit opercule avec orifice *o* en son milieu. Enfin un thermomètre dans une gaine spéciale permet de déterminer la température aux différents moments de l'essai. On commence par remplir le récipient de pétrole, puis on ferme le couvercle et l'opercule et on chauffe au bain-marie. L'essai consiste à enflammer la vapeur par l'orifice pratiqué dans l'opercule. Si une flamme de vapeur de pétrole apparaît et se maintient, on note la température qui est celle à laquelle l'huile prend feu. Si cette flamme ne persiste pas, il faut procéder à une opération complémentaire. L'opercule étant ouvert, on enflamme alors la mèche et on note la température à laquelle une petite explosion, en se produisant, éteint la flamme : c'est le degré d'inflammabilité. Lorsque cette explosion a lieu au-dessous de 34°, il faut refaire l'essai trois fois et prendre la moyenne.

L'appareil *Abel* (*fig.* 19) est formé par un réservoir en laiton A contenant le pétrole chauffé au bain-marie, B, au moyen d'une lampe à alcool ou à gaz. Le réservoir A repose sur le bain-marie par l'intermédiaire d'une plaque en ébonite *b* ; il est fermé par un couvercle *c* à trois orifices, pouvant être ouverts ou fermés par le jeu d'une coulisse. Au dessus, on dispose une petite lampe à huile de colza *l* à mèche horizontale pouvant basculer et présenter sa flamme au-dessus des ouvertures. Enfin le bain-marie et le réservoir peuvent recevoir chacun un thermomètre. Pour faire une expérience, on remplit le réservoir jusqu'à une certaine hauteur indiquée par un index fixé dans le fond. On chauffe le bain-marie (eau ou huile) jusqu'à 49 ou 50°. Tous les orifices du réservoir sont fermés. Lorsque son thermomètre marque 19°, on tire la coulisse, de manière à les ouvrir; la lampe à colza bascule et présente sa flamme

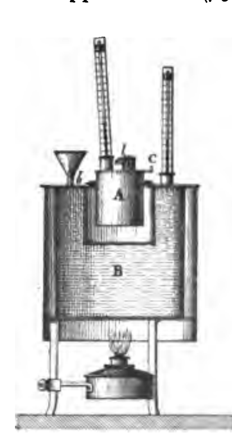


Fig. 19. — Naphtomètre Abel.

au contact des vapeurs qui s'échappent. On recommence l'opération de degré en degré jusqu'à ce qu'on ait obtenu son extinction : c'est le point d'inflammabilité. La longueur de la flamme de colza doit être de 3 à 4 millimètres; le contact avec les vapeurs ne doit durer que trois à quatre secondes. Les indications de cet appareil à vase clos sont plus approchées de 1° à 5° que celles du précédent à réservoir ouvert. Il a été rendu plus précis encore par M. Pinsky.

Le naphtomètre *Abel-Pinsky* comporte les organes précédents, mais le couvercle, sur lequel sont ménagées les ouvertures, est muni d'un obturateur mû par un mouvement d'horlogerie. La lampe à huile de colza placée au-dessus des ouvertures est mobile autour d'un axe horizontal. Chaque fois que l'on se propose de déplacer l'obturateur, il faut remonter le mouvement d'horlogerie au moyen d'un bouton spécial; puis, au moment où le thermomètre indique que le pétrole est à la température de l'essai, on presse un levier qui déclenche l'obturateur. Comme dans le naphtomètre Abel, la lecture du thermomètre doit avoir lieu au moment de l'extinction de la flamme ; on peut en faire une de demi-degré en demi-degré. On répète l'essai trois fois, et on prend la moyenne. Un essai est acceptable, s'il ne diffère du précédent que par un degré et demi au plus ; il convient également de faire la correction barométrique avec les tables qui accompagnent l'appareil. De temps à autre, au moyen d'un gabarit, muni de repères, on peut s'assurer que tous les organes sont bien en place.

Le degré d'inflammabilité des pétroles rectifiés est voisin de 45° (Granier), soit 43° (Abel), correspondant à une densité moyenne de 0,785 ; mais cette relation n'est qu'approchée, car des pétroles de luxe, de densité 0,790, comme la *Luciline*, l'*Oriflamme*, l'*Électricine*, ne s'enflamment qu'à 55°. Il est en effet très facile de corriger la densité d'un pétrole, en l'additionnant soit d'essence, soit d'huile lourde, mais on fait varier son degré d'inflammabilité. Les pétroles de luxe sont ceux qui proviennent du cœur de la distillation, ils ne sont mélangés ni aux résidus des essences ni aux produits légers de l'huile lourde; leur épuration est faite avec beaucoup de soin, de manière à diminuer leur odeur et à leur donner une grande limpidité.

On peut compléter les renseignements précédents, en déterminant le pouvoir lumineux et la durée d'éclairage dans une lampe spéciale d'après un pétrole type, comme l'indique le graphique de la figure 20.

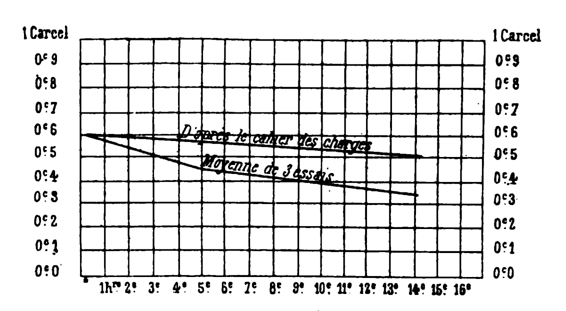


Fig. 20. — Essai photométrique d'un pétrole.

22. Huiles lourdes. — L'huile lourde, de densité 0,910, qui reste après la distillation des huiles lampantes, a un aspect noirâtre à reflets plus ou moins fluorescents ; elle renferme une grande variété de produits ; l'huile américaine est particulièrement riche en paraffine, ce qui la rend moins visqueuse que celle de Russie, qui n'en renferme presque pas, à tel point qu'aux températures les plus basses cette dernière épaissit sans devenir solide.

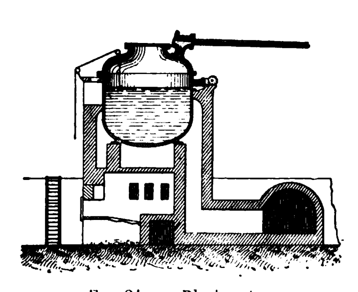


Fig. 21. — Black-pot.

La matière est soumise à la distillation dans des chaudières spéciales, ou *black-pots*, ayant la forme d'un cylindre vertical terminé par un fond sphérique d'une épaisseur assez grande, 8 à 10 centimètres (*fig.* 21). Le traitement a lieu sur une masse de 10 à 12 mètres cubes. Les vapeurs sont condensées dans des serpentins plongeant dans l'eau froide ou simplement exposés à l'air. On peut classer les pro-

duits obtenus en trois catégories qui n'ont rien d'absolu, car elles empiètent les unes sur les autres.

1° Ceux qui passent tout d'abord sont relativement assez légers pour pouvoir être mélangés à du pétrole à distiller en vue d'obtenir de l'huile lampante ; cette addition ne s'applique qu'aux huiles américaines (0,850), celles du Caucase donnant une huile dite solaire (0,855 à 0,880), peu inflammable et d'une odeur désagréable qu'on ajoute au mazout pour servir de combustible ou à la fabrication du gaz d'huile.

2° La seconde catégorie est la plus importante. Avec les pétroles d'Amérique on obtient des huiles riches en paraffine (0,870), traitées dans le but d'obtenir cette substance. Ceux du Caucase donnent, au contraire, des huiles de graissage très recherchées (0,880 à 0,930).

3° Si on poussait la distillation jusqu'au bout on recueillerait au fond du black-pot un coke spongieux très léger et très combustible; mais, le plus souvent, on ne va pas jusque-là, et la matière presque solide est mélangée aux huiles de graissage, ou brûlée directement.

Les résidus américains peuvent encore, avec un traitement spécial, donner la *vaseline*, si recherchée en pharmacie. En résumé, suivant les besoins, on obtient une foule de produits très variés en modifiant simplement le traitement des matières premières.

CHAPITRE III

ÉCLAIRAGE AUX HUILES MINÉRALES

§ 1. — Lampes a essence

23. Préliminaires. — Dans l'éclairage aux huiles minérales les appareils employés varient avec la nature du liquide. Il est évident que la même lampe ne saurait servir indifféremment pour l'essence ou l'huile lourde : dans le premier cas la volatilité dispense de tout mécanisme ; dans le second, au contraire, il faut recourir à un artifice pour produire la combustion.

En ce qui concerne les parties les plus légères de l'huile minérale, comme la gazoline (0,650) par exemple, il suffit de faire passer un courant d'air au travers pour obtenir un composé éclairant : c'est le principe de la fabrication du gaz à l'air (Voir *Gaz spéciaux*). Pour des liquides plus denses, comme l'essence (0,700 à 0,710), on a recours à un procédé fort simple qui consiste à enflammer directement les vapeurs qu'ils émettent à la température ordinaire. Tous ces divers modes d'éclairage nécessitent quelques précautions, par suite même de la grande volatilité des matières employées. Depuis quelque temps on a imaginé d'appliquer l'essence à l'éclairage par incandescence; les résultats ont été satisfaisants; on a même songé à substituer à l'essence des liquides analogues, comme l'alcool par exemple. Nous allons examiner en détail quelques-uns de ces appareils.

24. Lampes à essence. — Dans ces appareils on utilise directement l'essence minérale du commerce sans mécanisme spécial. La lampe comporte un réservoir rempli d'une

matière spongieuse, comme du feutre, de la bourre, du coton et même de la pierre ponce. La mèche pleine, en coton, remplit le bec cylindrique vissé au-dessus du réservoir; elle descend jusqu'au fond du récipient. L'alimentation se fait par simple contact de la substance imbibée d'essence avec la mèche. Il faut avoir soin de bien remplir le réservoir et d'essuyer tout l'excédent de liquide qui pourrait couler. Dans ces conditions il n'y a plus aucun risque d'incendie; la lampe peut être retournée sans danger.

L'appareil type de ce genre est la lampe *Pigeon* si répandue et dont les modèles sont variés suivant les besoins. Elle ne peut guère servir que pour les éclairages de faible intensité. On compte 6 grammes d'essence par bougie-heure, et, comme le réservoir contient 70 à 90 grammes, on voit que la durée d'éclairage peut atteindre quinze heures environ. Il faut avoir soin de se servir exclusivement d'essence; ce liquide se différencie en particulier du pétrole, en ce qu'il ne laisse pas de tache sur le papier. L'emplissage du réservoir doit se faire le jour, à l'abri de tout corps incandescent. Il faut fermer la lampe lorsqu'elle est éteinte pour éviter toute évaporation.

On donne à la lampe à essence une forme assez originale, se rapprochant beaucoup de celle de l'applique à gaz ordinaire, et pouvant servir plus spécialement à l'éclairage en plein vent. Un réservoir ayant la forme d'un cylindre horizontal aplati contient environ un demi-litre d'essence ou de gazoline. Il est rempli d'une substance spongieuse qui s'imbibe du liquide. Dans le bas, ou dans le milieu, débouche un tube fermé à son extrémité par un disque plein ; il renferme une mèche fortement comprimée. L'extrémité du tube, près du disque est percée de trous par où s'échappe l'essence; une fois en marche, tous ces trous mesurant un dixième de millimètre laissent échapper autant de dards qui, en se réunissant, constituent la flamme. Pour faire l'allumage, il faut avoir soin, au préalable, de chauffer légèrement l'extrémité du tube pour vaporiser l'essence. Généralement on laisse cette flamme exposée au vent; on peut cependant l'entourer d'un globe en verre qui augmente sa fixité. La lumière qu'elle donne est très faible et très irrégulière. L'introduction du liquide se fait par une ouverture placée à la partie supérieure

du réservoir fermé par un bouchon à vis. La durée de l'éclairage peut être de douze à quinze heures.

25. Lampe Phare. — On a essayé longtemps d'employer directement l'essence dans les lampes à pétrole ordinaire avec cheminée ; quelque-unes même donnaient un éclairage d'une certaine intensité. Il convient de citer à ce sujet la lampe *Phare* dont on rencontre encore de nombreux exemplaires. Elle comporte une série de mèches pleines disposées en couronne. Chaque mèche ronde est enfermée dans un tubeen lait on évidé dans la partie plongeant dans le réservoir. Tous les tubes sont reliés entre eux, et une crémaillère permet de les mouvoir ensemble. Un disque métallique horizontal ou champignon, placé au milieu de la flamme force celle-ci à s'épanouir, tout en augmentant la combustion. Enfin l'appareil se complète d'une cheminée en verre légèrement conique qui donne à la lumière une très grande fixité. Cette lampe, qui tient à la fois des lampes à pétrole et à essence, est dangereuse au point de vue de la manipulation et de l'emplissage. L'échauffement du liquide est très considérable et, si l'évaporation augmente, elle fait entendre un ronflement : on dit que la lampe s'emballe. Elle est, de plus, très délicate et nécessite de fréquentes réparations.

26. Lampe Azur. — Cette lampe, d'où sont dérivées toutes celles à incandescence par l'essence, est basée sur le principe de la carburation de l'air, c'est-à-dire qu'au préalable on prépare un mélange d'air et de gaz (essence vaporisée) qu'on enflamme ensuite dans un brûleur à gaz ordinaire. L'appareil comporte un récipient contenant de l'essence liquide, dans lequel plongent deux mèches pleines enfermées chacune dans un tube en laiton *a* (*fig.* 22). Les mèches s'élèvent à mi-hauteur dans les tubes qui se soudent un peu au-dessus du réservoir. La partie commune se termine par un ajutage *o* pour l'échappement de l'essence vaporisée. Pour obtenir la volatilisation du liquide, il suffit de chauffer le tronc commun. Le jet de vapeur produit une aspiration et entraîne avec lui une certaine quantité d'air : on obtient ainsi facilement la carburation de ce dernier. Le mélange se

rend alors dans un bec ordinaire à trous surmonté d'une cheminée en verre. Le chauffage de l'essence est obtenu au moyen d'une petite veilleuse *b* placée sous l'ajutage qui s'alimente directement dans le réservoir. Au moyen d'une clef à molette, on peut donner plus ou moins de flamme à la

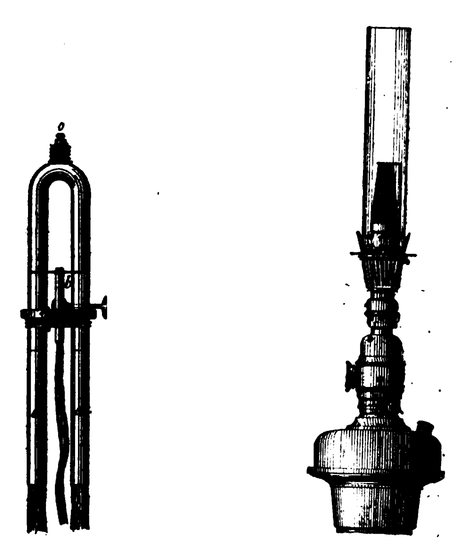


Fig. 22. — Lampe Azur.

veilleuse et, par suite, régler le débit de l'ajutage. La mèche de la veilleuse étant seule soumise à la combustion ; il est nécessaire de la remplacer de temps à autre.

Pour mettre en service l'appareil, il suffit d'enflammer la veilleuse de l'extérieur en ouvrant une glace ou regard situé latéralement sur la partie supérieure du réservoir. Au bout de deux ou trois minutes, le dégagement d'essence est suffisant pour pouvoir donner avec l'air un mélange éclairant qu'on peut enflammer. La lumière obtenue a une intensité de $2^{carc},5$ pour une consommation horaire de 52 grammes d'essence.

On peut appliquer à cet appareil le principe de la récupé

ration, c'est-à-dire que l'air admis à la combustion peut être chauffé au préalable au moyen de la chaleur des gaz de la cheminée ; la consommation descend alors à 45 grammes pour $2^{carc},5$. Le fonctionnement de la lampe Azur est très satisfaisant, elle ne présente aucun danger, si on a soin, bien entendu, d'appliquer les précautions les plus élémentaires ; l'emplissage doit se faire le jour au moyen d'un bidon spécial dont l'écoulement s'arrête automatiquement, lorsque le réservoir est plein ; on n'a donc pas à craindre le déversement de l'essence.

27. Lampes à incandescence par l'essence. — Il n'y a que fort peu de chose à faire pour transformer l'appareil précédent en une lampe à incandescence, il suffit de remplacer le brûleur à trous par un bec Bunsen et d'adapter un manchon au dessus. La transformation réussit parfaitement, et l'on obtient un appareil fort simple, identique au précédent. Il y a toujours deux tubes, munis de mèche pour l'ascension de l'essence, se soudant en un seul, au-dessus de la veilleuse de chauffage. L'orifice d'échappement débouche au-dessus d'une série d'ouvertures ménagées pour l'aspiration de l'air. On obtient, en quelque sorte en une seule fois, la préparation du gaz à l'air et son mélange intime pour pouvoir le brûler dans un bec Bunsen ordinaire. Le manchon est suspendu au-dessus de la flamme par une petite potence (*fig.* 22). Au point de vue de l'intensité lumineuse, les résultats sont très satisfaisants; avec une consommation horaire de $47^{gr},5$, on obtient un pouvoir éclairant de $4^{carc},57$, soit $10^{gr},4$ d'essence par carcel.

28. Lampe à incandescence par l'alcool. — M. Engelfred a imaginé de remplacer, pour la production de l'incandescence, l'essence minérale par de l'alcool (0,800). Les alcools, étant peu riches en carbone, renferment par contre de l'hydrogène en quantité suffisante pour donner un grand dégagement de chaleur. Le principe de son appareil est le même que celui de la lampe Azur. Quatre tubes remplis de mèches pleines en coton, débouchent dans le réservoir contenant le liquide. Une veilleuse placée au-dessus du tronc commun

produit l'évaporation de l'alcool. Le brûleur est formé par un Bunsen ordinaire, débitant le gaz mélangé d'air par une fente circulaire. Au dessus, se trouve le manchon soutenu non plus par une potence, mais par une tige métallique transversale, ce qui lui donne l'élasticité nécessaire pour ermettre le transport de l'appareil. L'allumage de la veilleuse se fait par une ouverture triangulaire ménagée sur la monture de la cheminée.

La dépense est de 60 grammes d'alcool pour 5 carcels environ, soit 12 grammes par carcel. L'inconvénient de cet appareil est qu'il s'échauffe rapidement ; il peut y avoir *emballement* de la lampe et, par suite, rupture du réservoir en verre.

L'emploi de l'essence et même des divers hydrocarbures à l'éclairage par incandescence, peut permettre d'obtenir des sources lumineuses économiques, tout en étant d'une intensité élevée.

§ 2. — Éclairage au pétrole

29. Préliminaires. — Cet éclairage tend à se répandre de plus en plus et à remplacer les bougies et l'huile végétale. Pour obtenir avec cette matière une lumière claire et brillante, il faut lui fournir de l'air en quantité suffisante, de manière à obtenir la combustion complète des carbures riches qu'elle renferme. Actuellement, un très grand nombre de lampes réalisent cette condition. Les divers appareils diffèrent par la disposition du bec : en effet, pour la plupart l'ascension du liquide se fait simplement par capillarité au moyen d'une mèche; exceptionnellement on a recours à un mécanisme spécial. Le réservoir étant placé à la partie inférieure, ils ont tous une grande mobilité qui les rend propres à l'éclairage intérieur. Les principaux becs employés sont les becs ronds à mèche ronde, les becs ronds à mèche plate et les becs plats ; tout récemment, on leur a appliqué, avec succès, le principe de l'incandescence justifié par a puissance calorifique de la flamme du pétrole

On emploie deux sortes d'huile lampante : les pétroles d'Amérique d'une densité voisine de 0,800, et les pétroles russes plus lourds, 0,820. Leur degré d'inflammabilité est au-dessus de 40°, ce qui fait de l'éclairage au pétrole une source lumineuse inoffensive.

30. Lampe à bec plat. — Dans cet appareil la mèche plate en coton tressé est enfermée dans une gaine métallique à section rectangulaire qui constitue le bec. Deux pignons, mus par une roue à molette extérieure, servent à régler sa hauteur. Ce brûleur, qui n'est autre que le bec plat des lampes à l'huile végétale, nécessite l'intervention d'un organe spécial, pour l'admission de l'air. La flamme, au lieu de brûler directement dans l'air, débouche dans une capsule métallique (*fig.* 23) formant chambre de combustion. Une fente rectangulaire, percée sur le dôme de la capsule, laisse passer la partie éclairante de la flamme plate, assez semblable à celle d'un bec de gaz papillon. La chambre de combustion reçoit l'air par une série de trous ménagés sur la base de la capsule et sur la galerie du porte-verre. Les hydrocarbures gazeux rencontrent l'air admis dans la capsule et commencent à brûler, en donnant une flamme bleue qui lèche les bords de la fente et les porte à une température élevée. Par suite du rétrécissement de l'orifice de sortie, l'air et les gaz se mélangent, et la combustion, à peu près complète, est encore favorisée par la décomposition des hydrocarbures au contact des bords de la fente. La capsule joue un très grand rôle et, suivant la position que l'on donne à la mèche dans la chambre, on voit l'allure de la flamme changer complètement. Une cheminée, renflée à la base, pour

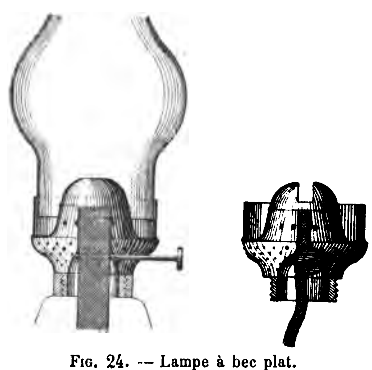
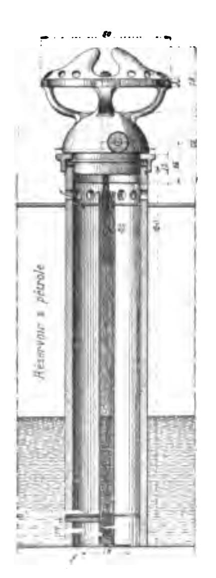


Fig. 24. — Lampe à bec plat.

pouvoir résister à l'action des pointes de la flamme, augmente le tirage. La lumière obtenue est assez constante : un bec de 7 lignes, ou $15^{mm},82$, donne au commencement de l'essai $0^{carc},60$, et quatorze heures après $0^{carc},50$; la consommation horaire est de 22 grammes à l'heure (*fig.* 20). Le réservoir de ces lampes se fait en verre ou en laiton ; il a une forme très aplatie de manière à faciliter l'ascension du liquide. Il faut avoir soin de couper les angles de la mèche pour diminuer la largeur de la flamme et, par suite, éviter le bris de la cheminée.



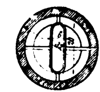


FIG. 24. — Bec de falot.

31. Lampe de falot. — On est arrivé à supprimer la cheminée, qui est un organe dispendieux, tout en conservant à la flamme sa grande fixité. Au chemin de fer du Nord où ce système a été appliqué à l'éclairage avant et arrière des trains, la capsule est supportée simplement sur le bec par quatre branches laissant entre elles un libre accès à l'air; elle présente à sa base des orifices largement ouverts, la fente elle-même est échancrée à ses extrémités. La mèche (*fig.* 24), mue par deux pignons, est enfermée dans une gaine rectangulaire formant réservoir auxiliaire qui communique avec le principal, par l'intermédiaire d'un petit conduit. De cette façon, on a pu ménager un espace annulaire, à circulation d'air, empêchant tout échauffement du liquide. L'air pénétrant dans le bas de cette cheminée s'échappe à la partie supérieure par une série de trous circulaires. La flamme, peu éclatante par elle-même, est placée au foyer d'un réflecteur sphérique en tôle nickelée qui donne un faisceau lumineux très intense dont les rayons sont sensiblement horizontaux; ce réflecteur porte, en outre, à sa partie supérieure, un orifice pour le passage des gaz de la combustion. Quant au

réservoir, dont la contenance est de 1 kilogramme environ. il ne présente rien de particulier; l'emplissage se fait par un orifice avec bouchon à vis.

Tout le système est enfermé dans une lanterne cylindrique qui peut se fixer au moyen d'un crochet contre la machine. Une des faces du cylindre horizontal est munie d'un disque en verre, blanc ou coloré suivant le cas; cette face est mobile et sert pour l'allumage de la lampe. L'autre, pleine, est percée de deux trous qui laissent passer chacun une bride fixée au réservoir et dans laquelle on engage une clavette pour maintenir la lampe contre la lanterne. La flamme devant résister aux plus grandes vitesses, les prises d'air ménagées sur le corps de la lanterne et sur la face arrière sont recouvertes de brise-vent; le chapiteau mobile s'emmanche à baïonnette sur la cheminée qui surmonte la lanterne ; il laisse entre lui et la cheminée un espace annulaire pour l'échappement des gaz brûlés.

La consommation horaire de l'appareil est de 14 grammes pour une intensité de $0^{carc},40$ sans réflecteur (bec, 8 lignes, $18^{mm},08$). Un autre brûleur du même type, mais plus petit, $15^{mm},82$, appliqué aux signaux d'angle, donne $0^{carc},32$ pour une consommation de $12^{gr},5$. On n'a plus à craindre, grâce au courant d'air intérieur du réservoir, les incendies fréquents qui se produisaient avec des becs analogues (bec Lasky).

32. Lampe Shallis et Thomas. — Le pétrole a été appliqué à l'éclairage intérieur des voitures de chemins de fer; mais, pour diminuer les risques d'incendie en cas d'accident, le liquide employé est un pétrole lourd d'un degré d'inflammabilité très élevé. Dans la lampe *Shallis et Thomas* le bec plat a sa flamme disposée horizontalement, de manière à supprimer toute ombre portée. Elle se trouve légèrement au-dessus du niveau du liquide, qui s'élève jusqu'à elle par capillarité. La forme en anneau plat du réservoir permet d'avoir un approvisionnement de pétrole suffisant pour les plus longs parcours. La flamme se trouve dans une chambre de combustion en tôle émaillée séparée du réservoir par une enveloppe de feutre qui empêche toute infiltration du liquide à l'intérieur. Au-dessus du réflecteur, une cheminée

en tôle évacue les produits de la combustion. L'ensemble du système est enfermé dans une lanterne analogue, comme principe, aux lanternes à huile, c'est-à-dire présentant vers le milieu des prises d'air empêchant tout mouvement de la flamme ; mais, dans ce cas particulier, les orifices servent, en outre, à l'écoulement du liquide du réservoir en cas de renversement accidentel de ce dernier. A cet effet, des conduits verticaux soudés au réservoir débouchent tout près de ces trous. Une coupe en verre complète l'appareil.

L'emplissage et l'allumage de la lampe se font à l'atelier. On met deux lampes par compartiment, chacune ayant une intensité lumineuse un peu supérieure à 1 carcel. En dehors de la Compagnie d'Orléans, l'emploi de ces appareils ne s'est pas développé.

33. Lampe Hinks ou Duplex. — Les becs plats n'ont donné qu'une lampe intensive : c'est la lampe Hinks à deux mèches. Elle comporte deux becs plats *a* accolés l'un à l'autre et débouchant sous la même capsule percée de deux fentes parallèles pour le passage des flammes. Chaque mèche est mue par un pignon monté sur un axe différent *mm* ou tous deux sur le même, mais ayant chacun un mouvement indépendant. Ainsi constituée, elle ne présente rien de spécial, et son intensité lumineuse est égale à la somme des pouvoirs éclairants de chaque bec pris séparément ; mais le caractère principal, appliqué depuis à d'autres lampes, est la facilité avec laquelle on peut faire l'allumage ou l'extinction sans avoir besoin pour cela de toucher à la cheminée. Pour l'extinction, chaque mèche est entourée d'une enveloppe mobile *b*, que l'on peut mouvoir de l'extérieur au moyen d'un levier *l* dont le point fixe *o* se trouve sur la galerie. En appuyant sur l'extrémité de ce levier, on soulève les deux obturateurs qui, en interceptant l'air, produisent l'extinction. Ils se lèvent automatiquement si, par hasard, on vient à renverser la lampe ; on supprime ainsi tout risque d'incendie. Pour l'allumage, la capsule et le porte-cheminée sont montés sur deux tiges pouvant se déplacer verticalement à frottement doux dans le corps du bec. Au moyen d'une clef, on imprime un mouvement de rotation à un levier qui

soulève la galerie et laisse un passage pour l'allumage.

Dans la modification Messenger, chaque tige *p* (*fig.* 25) qui supporte la capsule et le porte-verre est munie d'un galet *g* reposant sur un plan incliné *h*. En imprimant un mouvement vers la droite aux deux plans inclinés par le moyen d'une clef *c*, on soulève les galets et par suite les tiges. Il suffit, l'allumage terminé, de ramener la clef vers la gauche

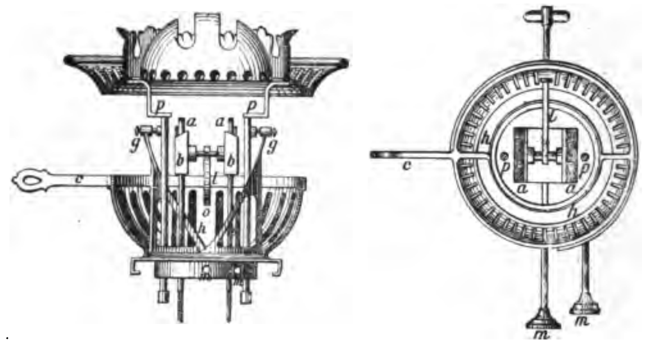


Fig. 25. — Lampe Hinks ou Duplex.

pour redescendre tout le système. L'extinction se fait comme dans les appareils Hinks.

Ces divers détails ont fait le succès de ces lampes, dont les réservoirs montés d'une façon luxueuse donnent une grande valeur à ces appareils. La forme des flammes nécessite des cheminées renflées à la base avec une partie aplatie correspondant au plan des mèches. On obtient le carcel avec une consommation horaire de $36^{gr},4$.

34. Lampes à courant d'air central. — *Lampe solaire.* — On désigne plus spécialement sous ce nom des appareils à bec rond dont le cylindre intérieur est prolongé jusqu'au fond du réservoir pour recevoir l'air par le bas. La mèche, ronde, assez épaisse, se place sur ce cylindre et plonge dans le liquide du réservoir. Le courant d'air externe pénètre par des trous ménagés sur la galerie du porte-verre.

Au-dessus du courant intérieur on dispose un disque horizontal, ou champignon, qui a pour but de rabattre le courant

sur la flamme, tout en réduisant le tirage. La construction en est fort simple ; de plus, ces appareils ont l'avantage de permettre en quelque sorte le dosage de l'air nécessaire à chaque courant. Leur emploi s'est généralisé rapidement, en particulier à l'étranger, où ils sont connus sous le nom de lampe *belge*, *française*, *universelle*, etc. Dans toutes ces lampes, lorsqu'elles ne sont pas suspendues, le fond repose sur son support par l'intermédiaire de trois petites sphères, laissant ainsi un libre passage à l'arrivée de l'air dans le tube intérieur.

Une des lampes de ce type, des mieux construites, est celle de M. *Besnard*. Le courant d'air extérieur est dirigé sur la flamme par un cône métallique. Un disque d'acier horizontal force le courant intérieur à arriver perpendiculairement sur elle. La cheminée présente au droit de la flamme une partie sphérique épousant la forme de cette dernière, de manière à pouvoir résister à la chaleur rayonnante très intense. Elle peut donner 4 carcels, avec une consommation horaire de 130 grammes, soit 32 grammes par carcel. La maison Besnard fabrique une lampe à courant d'air intérieur, dite lampe *solaire* à flamme en dessous. Dans le réservoir, ayant la forme d'un anneau aplati, plongent trois mèches plates amenant le liquide au bec rond placé en dessous de la face inférieure. Ces trois mèches n'amènent l'huile que pendant le fonctionnement de l'appareil. Pour n'avoir pas à les remplacer, on les met en contact avec une quatrième, ronde, seule exposée à la flamme, qu'il devient alors très facile de remplacer lorsqu'elle est usée. Une cheminée en tôle active le tirage, elle remplace la cheminée en verre des lampes ordinaires. Les prises d'air sont ménagées sur une galerie placée entre la cheminée et le réservoir, de manière à refroidir ce dernier; on règle les ouvertures au moyen d'une coulisse formant registre. Enfin la flamme est entourée d'une coupe en verre destinée à recevoir les égouttures. Cette lampe, comme toutes les lampes à courant d'air intérieur, peut brûler des pétroles lourds.

35. Lampe Rochester. — Des modifications importantes ont été apportées au type des lampes à courant d'air central.

Dans le modèle *Rochester* on se propose de refroidir le bec de manière à réduire l'évaporation du liquide et, par suite, la consommation, tout en chauffant l'air nécessaire à la combustion.

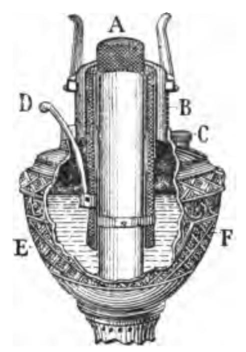


Fig. 26. — Lampe Rochester.

Ce résultat est obtenu en remplaçant le disque horizontal des lampes précédentes par une toile métallique emboutie A (*fig.* 26). Le courant intérieur, en passant au travers des mailles, absorbe la chaleur au point de permettre de prendre le métal à la main; l'échauffement du réservoir F se trouve également diminué, la flamme ainsi obtenue est très blanche, très brillante. La galerie B, pour le courant d'air extérieur, est formée également par un treillis métallique. Enfin une dernière modification réside dans la manière de remonter la mèche; on n'emploie plus, comme précédemment, un pignon, mais une simple tige D, reliée à la mèche par un collier en laiton, fermé par une agrafe. Le reste de l'appareil ne présente rien de spécial; comme toutes les lampes d'origine américaine, elle est construite avec un grand luxe, ce qui rend son prix d'achat élevé.

36. Lampe Sépulchre. — La lampe *Sépulchre*, de Liège, antérieure à la précédente, est basée sur le même principe. C'est toujours une lampe à courant d'air central, mais le cylindre intérieur se prolonge au-dessus du bec. La partie A (*fig.* 27), qui fait ainsi saillie, est percée de trous, le long des génératrices, amenant l'air chaud sur la flamme. Entre le bec et le réservoir, on intercale une chambre intermédiaire C destinée à diminuer l'échauffement du liquide du réservoir E. Elle reçoit, en outre, les vapeurs émises par le pétrole et, pour en empêcher l'inflammation entre elle et le bec, se trouve une toile métallique. Le reste de l'appareil est analogue aux précédents le mouvement de la mèche est obtenu au moyen d'un simple pignon, un cône directeur envoie le courant d'air extérieur sur la flamme. Il faut, avec cette lampe,

employer une cheminée à renflement sphérique au droit de la flamme.

M. *Aumenier* y a apporté quelques modifications (*fig.* 27) : au lieu de faire déboucher le cylindre intérieur B dans le fond de la lampe, il l'entoure d'un deuxième cylindre D, et l'air circule entre les deux. Le pétrole arrive à la mèche par l'intermédiaire de petits conduits horizontaux. Cette disposition a, comme avantage, de diminuer l'échauffement du liquide du réservoir; par contre, elle réduit sa capacité.

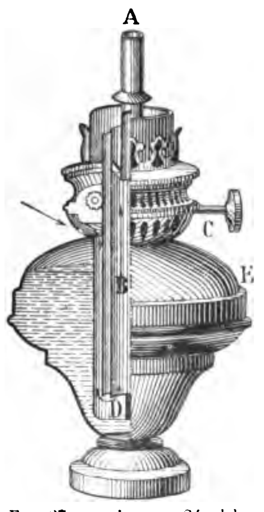


Fig. 27. — Lampe Sépulchre modifiée.

Le rendement de tous ces appareils, dont les modifications ont pour but d'empêcher toute évaporation exagérée du pétrole, est sensiblement le même que celui des précédents; dans la lampe Sépulchre on obtient la carcel avec 28 grammes de pétrole.

37. Bec allemand ou Cosmos. — Pour conserver les avantages du courant d'air intérieur, tout en supprimant le prolongement du cylindre central dans le réservoir, on a imaginé un bec ayant la simplicité du bec plat et les avantages du bec rond : c'est le brûleur allemand ou Cosmos. Il est formé par deux troncs de cône concentriques A (*fig.* 28). La mèche plate, assez épaisse, a une largeur égale à la circonférence de la section la plus étroite du brûleur, c'est-à-dire du haut A, de telle sorte qu'en cet endroit les extrémités se rejoignent et qu'elle a l'apparence d'une mèche ronde. L'enroulement de cette mèche est obtenu au moyen de quatre pignons *z*, mus par une molette extérieure ; pour la mettre en place, il suffit de l'engager entre les deux troncs de cône; le double pignon intérieur, agissant en quatre points à la fois, lui donne un mouvement de descente et de montée très régulier. L'introduction de l'air intérieur est assurée au

moyen d'une ouverture triangulaire O percée sur les deux parois du bec. L'air extérieur pénètre à travers les orifices de la galerie qui supporte la cheminée ; il est dirigé sur la flamme par l'intermédiaire d'un cône directeur. Quant à la cheminée, elle est cylindrique avec un simple coude

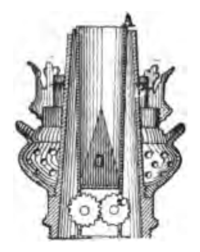
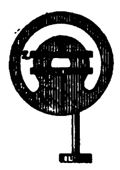



Fig. 28. — Bec allemand ou Cosmos.

à la base ; elle est plus haute que celle des lampes à huile. On peut, avec ce système, obtenir des intensités variant avec le diamètre du brûleur. Le grand avantage de cette lampe est son bon marché. La valeur du réservoir entre pour beaucoup dans le prix total de l'appareil. La mise en place de la mèche doit se faire soigneusement, de manière à ce que les extrémités se rejoignent bien et ne donnent pas de points fuligineux dans la flamme; ce que l'on peut éviter, du reste, en prenant une mèche cousue, dans le haut, sur $0^m,03$ environ de longueur.

38. Lampes à plusieurs mèches. — Pour conserver le bec rond, tout en supprimant le tube central, on a imaginé d'employer une mèche circulaire de faible longueur, sur laquelle viennent s'appuyer deux mèches plates qui plongent dans le réservoir au moyen de deux conduits verticaux, laissant entre eux un libre passage au courant d'air intérieur. Une bague métallique assure le contact des trois mèches. Les deux mèches plates amènent, par capillarité, le pétrole à la mèche ronde soumise seule à l'usure. En agissant au moyen d'un pignon sur la mèche ronde, on élève plus ou moins la flamme. Au-dessus de cette dernière, se trouve le

champignon métallique destiné à augmenter la combustion. Quant à la cheminée, elle varie avec l'importance du brûleur; les plus petites sont cylindriques avec un simple coude, les autres présentent un renflement sphérique. On obtient la carcel avec 32 grammes de pétrole à l'heure.

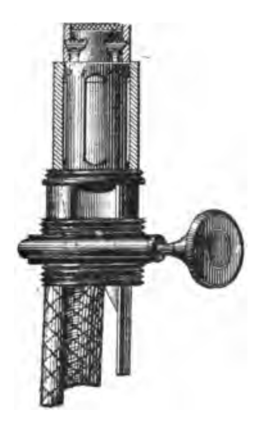


Fig. 29. — Lampe Ditmar.

Au lieu d'avoir deux grosses mèches plates, M. *Ditmar* a imaginé de n'en avoir qu'une seule plus grande (*fig.* 29); le tube qui la renferme laisse une ouverture suffisante pour le passage du courant d'air intérieur. La petite mèche à tissu plus fin est maintenue au moyen de griffes, comme dans le bec à huile. La cheminée en verre est simplement coudée. La consommation des becs *soleil* Ditmar est de 65 grammes, pour un brûleur de 16 lignes (36^{mm},1), et de 96 grammes pour celui de 18 lignes (40^{mm},6); le rendement lumineux est le même que précédemment.

L'inconvénient de ces lampes, pour des appareils qui doivent être simples, est leur complication relative, bien que cependant il ne faille remplacer les mèches intérieures qu'à de longs intervalles.

39. Lampe mécanique Peignet-Changeur. — Les divers appareils précédents nécessitent des réservoirs aplatis, par suite de l'impossibilité d'élever par capillarité le pétrole à plus de 30 centimètres de hauteur. On est obligé, pour placer la flamme assez haut, de les monter sur des supports dont la faible dimension contraste toujours avec le volume de l'appareil. Pour remédier à cet inconvénient, M. Peignet-Changeur a imaginé une lampe mécanique dite automatique. Le pétrole est aspiré d'un réservoir principal inférieur au moyen d'une pompe, puis refoulé dans un second réservoir supérieur plus petit renfermant le mécanisme et la mèche.

La pompe, mue par un mouvement d'horlogerie, fonctionne, suivant les besoins de l'alimentation. Un flotteur en liège, placé dans le haut du tube d'aspiration, arrête le mécanisme quand le réservoir est plein.

Cet appareil, si simple en théorie, laisse à désirer par suite des fréquentes réparations qu'il nécessite. Le brûleur est le même que celui des appareils précédents, son rendement est identique; la mèche est entourée d'un tissu épais et lâche, ou garde-mèche, plongeant dans le liquide.

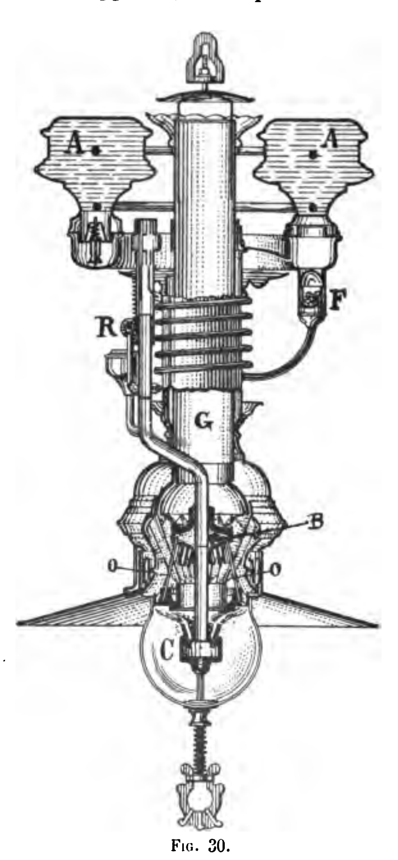


Fig. 30.

40. Lampe intensive à flamme en dessous. — On a imaginé récemment d'utiliser le pétrole à l'éclairage de grands espaces. Le problème a été résolu avec la lampe intensive dite l'*Éclatante*, dont la forme extérieure rappelle le récupérateur de Wenham (*fig.* 30). Le principe de cet appareil consiste à réduire le pétrole en vapeur au fur et à mesure des besoins de l'éclairage en se servant, à cet effet, de la chaleur des produits de la combustion.

Le liquide est enfermé dans un réservoir annulaire A placé à la partie supérieure. Il peut s'écouler, au travers d'un filtre F, le long d'un tube flexible qui le conduit, à raison de

90 gouttes environ par minute, dans une chambre B où il est vaporisé sous l'action de la chaleur fournie par le foyer même. Les vapeurs émises s'échappent par une série de tubes concentriques *o* dont l'orifice débouche à la partie supérieure d'une chambre close par une verrine sphérique. Ces vapeurs étant enflammées brûlent au contact de l'air d'alimentation amené dans la verrine par un système d'enveloppes récupératrices; les produits de la combustion s'échappent dans une cheminée centrale G.

Le débit peut se régler au moyen d'un robinet R placé sur le tuyau de descente. Pour mettre la lampe en service, il faut pouvoir vaporiser tout d'abord une certaine quantité de pétrole en chauffant préalablement la chambre B.

A cet effet on verse à l'aide d'un entonnoir E une petite quantité d'alcool qui s'écoule par le tube flexible, traverse l'appareil de haut en bas et vient tomber dans une petite cuvette C garnie de mèches d'amiante. On allume cet alcool et on ouvre le robinet R donnant accès au pétrole; celui-ci se trouve vaporisé dès son arrivée dans la chambre B; sa flamme suffit pour entretenir la chaleur dans la chambre B, de sorte qu'il est inutile de renouveler l'alcool épuisé.

D'après les essais du Laboratoire de la Vérification du Gaz de la ville de Paris, on obtient, avec une flamme moyenne, en brûlant du pétrole Oriflamme d'une densité de 0,785 :

Intensité verticale.....	8^{carc},68	pour une consommation
Intensité à 45°.........	7 ,63	horaire de 118 grammes

soit 15 grammes de pétrole par carcel-heure.

41. Lampes à incandescence. — Il fallait s'attendre à voir appliquer le principe de l'incandescence à l'éclairage au pétrole. Toutefois les difficultés sont nombreuses; en effet, ce liquide étant un mélange d'hydrocarbures différents, sa vaporisation est en quelque sorte une distillation qui fait que les produits obtenus changent à chaque instant, d'où variation de la flamme; de plus, il ne faut pas songer à produire la gazéification d'abord et l'éclairage ensuite, comme pour l'essence; l'odeur de sa vapeur est trop désagréable. On est donc obligé

de se servir de la flamme d'éclairage pour produire simultanément la vaporisation et la combustion.

Dans la lampe *Spiel et Bruchner*, le pétrole amené mécaniquement à la flamme s'y volatilise en circulant dans des tubes aménagés à cet effet; le gaz produit débouche ensuite sous cette flamme en aspirant l'air nécessaire à la combustion qui doit porter le manchon à l'incandescence. L'appareil, très simple en principe, est trop compliqué pour un usage courant.

Dans la lampe *Auer-Ditmar* on se sert simplement d'une lampe à bec rond (14-16 lignes) à double courant d'air (*fig.* 31). L'appel du courant intérieur se fait au moyen d'un conduit latéral *a* situé un peu au-dessus du réservoir. Un disque ou champignon placé à la partie supérieure force l'air à se diriger horizontalement sur la flamme. Le tube intérieur renferme, en outre, la crémaillère destinée à remonter la mèche par l'intermédiaire d'une coulisse *b* qui l'appuie contre le tube extérieur *c* fixe et lié à la galerie de prise d'air extérieure. Ce second courant est dirigé sur la flamme par un tronc de cône en forme de capsule qui supporte également la potence du manchon. Il ne faut pas oublier que, pour produire la combustion complète des hydrocarbures, il faut assurer leur mélange intime avec l'air. La vaporisation du pétrole est produite en quelque sorte par le courant d'air intérieur, et la combustion s'achève dans le courant extérieur; on obtient ainsi la flamme bleue très chaude de l'incandescence.

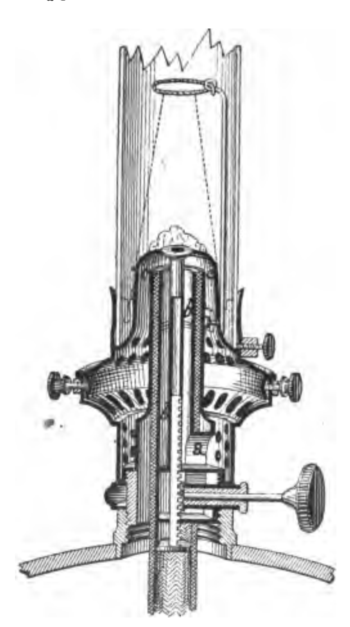


Fig. 31. — Lampe Auer-Ditmar.

L'appareil se complète d'une cheminée cylindrique en verre de 33 centimètres de hauteur. Il faut faire l'allumage avec beaucoup de soin, de manière à obtenir du premier coup la flamme chaude, sinon on court le risque de noircir le manchon. Ce dernier, analogue à ceux des brûleurs à gaz ordinaires, est cependant un peu plus conique. La consommation est de 38 grammes pour $2^{\text{carc}},5$, soit 15 grammes environ par carcel-heure. La construction de cette lampe nécessite de sérieux perfectionnements, car son fonctionnement est irrégulier.

42. Organes des lampes. — *Bec.* — Les observations à faire sur les divers organes des lampes à pétrole sont sensiblement les mêmes que celles des appareils à huile.

En ce qui concerne les dimensions du bec, elles dépendent naturellement de l'importance de la lumière que l'on veut obtenir. L'épaisseur est subordonnée à celle de la mèche, dont l'ajustage doit se faire avec beaucoup de soin, de manière à ne pas laisser de vide pour la formation des gaz. Dans les becs ronds la platine du tube intérieur doit être de 1 ou 2 millimètres plus élevée que celle du tube extérieur. On a, dans presque toutes les lampes, maintenu l'emploi du disque horizontal ou champignon et du cône extérieur pour augmenter l'action de l'air qui doit être admis en grande quantité. La construction des becs se fait en laiton, autant que possible sans soudure, à cause de la température élevée à laquelle ils sont soumis.

Mèche. — Les mèches sont d'un tissu plus grossier que celui des mèches à huile, on les fait en coton tissé ; souvent, pour les mèches plates, le milieu est en soie, de manière à augmenter encore la capillarité. Le pouvoir ascensionnel du pétrole dépend de la capillarité et de la viscosité de l'huile ; mais il est fonction également de la rapidité de la combustion.

La hauteur à laquelle s'élève le liquide a été mesurée par MM. Engler et Levin ; ils ont obtenu la formule :

$$h = \frac{2\alpha}{rd},$$

dans laquelle r est le rayon du tube capillaire servant à faire l'expérience : d, la densité de l'huile ; α, un coefficient sensiblement constant et égal à 2,60. Les essais ont été faits avec des pétroles de provenances diverses ; les hauteurs obtenues ont été sensiblement les mêmes. Ils ont trouvé, au point de vue de la rapidité d'ascension, que la présence de carbures lourds diminuait cette vitesse, mais qu'elle baissait davantage avec la viscosité, ce qui revient à dire que les huiles du Caucase s'élèvent plus vite que celles d'Amérique. La durée d'ascension du liquide dans une mèche à 15 centimètres de hauteur est de dix minutes environ. Il faut, autant que possible, favoriser cette ascension ; dans ce but les fils de coton doivent être très longs ; de plus, le tissu ne doit pas être serré. Les mèches, parfaitement sèches, sont conservées à l'abri de l'humidité qui diminue de beaucoup le pouvoir capillaire.

L'usure des mèches est assez faible, on a encore essayé de la diminuer, en ajoutant au tissu des fils métalliques d'or ou d'argent et même en les faisant en amiante. Cette complication est inutile. L'allumage se fait très facilement, et l'on n'a pas besoin de couper les bords de la mèche, il suffit d'essuyer la partie carbonisée.

Cheminée. — Le tirage doit être très énergique, aussi les cheminées sont plus hautes que dans le cas des lampes à huile. Le diamètre doit, par contre, être aussi petit que possible, mais on est limité par l'échauffement considérable dû à la chaleur rayonnante. Il faut donner au verre la même épaisseur partout pour permettre un chauffage régulier et empêcher le bris de la cheminée au moindre courant d'air. A ce point de vue, les cheminées cylindriques sont les meilleures. Dans le cas des becs avec champignon horizontal, la cheminée présente un renflement au droit de la flamme qui permet l'épanouissement de cette dernière. Pour les autres becs ronds on se contente de la munir d'un coude pour activer la combustion. Les cheminées se font en cristal ou en verre double de première qualité.

Entretien. — L'entretien des lampes à pétrole nécessite quelques précautions spéciales. Il faut faire l'emplissage du

réservoir pendant le jour à l'abri de tout corps incandescent. On doit l'essuyer au moment de l'allumage, car le pétrole suinte toujours, quelle que soit la nature du récipient. Ce suintement, assez mal expliqué, du reste, est d'autant plus faible que le bec se visse mieux sur le réservoir. Il provient en partie des vapeurs émises par le pétrole, vapeurs qui se condensent ensuite le long de l'appareil. Outre sa malpropreté, il a l'inconvénient de dégager pendant le fonctionnement de la lampe une odeur désagréable.

Le réservoir doit être rempli complètement. Dans le cas contraire il se forme au-dessus du liquide une chambre de vapeurs qui peuvent s'enflammer et faire explosion. Aussi les lampes présentant un réservoir intermédiaire ou une toile métallique donnent-elles une plus grande sécurité.

La mèche, une fois allumée, ne doit être élevée que progressivement pour permettre à la fois la dilatation de la cheminée et l'augmentation régulière de la flamme. Cette dernière ne doit être ni trop rouge ni trop blanche. Dans le premier cas la combustion est incomplète, et il y a dégagement d'odeur désagréable; dans le second, le tirage est trop actif et la mèche ne tarde pas à charbonner.

Il faut avoir soin, de temps à autre, de vider le réservoir; le pétrole étant un mélange de carbures, les plus fluides s'élèvent les premiers; il reste dans le fond de l'huile lourde qui ne monte plus et qu'on doit remplacer.

Malgré les grandes améliorations du raffinage, le pétrole doit être considéré comme très inflammable, aussi ne faut-il jamais remplir le réservoir pendant le fonctionnement de l'appareil. A ce point de vue, les récipients en verre sont préférables, car ils permettent de suivre l'abaissement du liquide; ils ont contre eux leur grande fragilité.

L'extinction de la flamme se fait en soufflant dessus, après l'avoir diminuée; en baissant la mèche brusquement, on risque fort de mettre le feu aux vapeurs qui surmontent le liquide. Les dispositifs adoptés pour l'extinction mécanique ne présentent aucun danger. Enfin, dans le nettoyage de l'appareil, il faut éviter de laisser tomber des déchets carbonisés ou autres dans les prises d'air, sous peine d'avoir une flamme inégale et fumeuse aux endroits obstrués.

43. Comparaison des diverses lampes. — On peut se placer à deux points de vue, soit qu'on considère deux lampes différentes brûlant le même liquide, soit qu'on les examine séparément, fonctionnant avec des huiles quelconques.

Des essais comparatifs ont été faits entre les pétroles russes et les pétroles d'Amérique. MM. Engler et Levin ont constaté que ces deux produits, dans des lampes appropriées, donnaient la même quantité de lumière totale, mais qu'au début l'huile américaine éclairait davantage, sauf à décroître rapidement. La quantité de pétrole consommé est la même dans les deux cas. La conclusion intéressante est qu'il faut, à chaque produit, une lampe spéciale, sous peine de mal utiliser son pouvoir éclairant.

Ils ont comparé également les différents dérivés d'une même huile minérale. Le résultat est que les produits à point d'ébullition bas possèdent un pouvoir éclairant plus grand que les autres. En second lieu, les produits qui distillent entre 150° et 300°, contribuent moins au pouvoir éclairant dans le cas des huiles russes que dans celui des huiles américaines. Enfin, si on ajoute des dérivés au-dessus de 300° d'ébullition, ils sont plus nuisibles aux pétroles russes qu'à ceux d'Amérique. Ces renseignements ont une très grande importance en ce qui concerne les mélanges des diverses fractions.

Si on compare maintenant les diverses lampes entre elles, on trouve que tous les brûleurs ordinaires consomment sensiblement la même quantité, 32 grammes. Les lampes intensives et surtout celles à incandescence sont plus avantageuses, comme l'indique le tableau ci-après.

NATURE DE LA LAMPE	CONSOMMATION	INTENSITÉ en CARCELS	CONSOMMATION par CARCEL-HEURE
	grammes		
Bec plat 7 lignes	25	0,76	33
— 12 lignes	33	1,00	33
Lampes de falot 8 lignes.	14	0,40	35
Lampe Hinks à 2 mèches.	78	2,15	36,4
Lampes Besnard 14 lignes.	76	2,54	30,3
— 24 lignes.	143	4,33	32,9
Lampe Sépulchre........	68	2,50	28
Bec Cosmos 10 lignes....	32	0,98	32
Lampe Ditmar 18 lignes..	96	3,20	30
L'Eclatante..............	118	8,00	15
Lampe à incandescence..	38	2,50	15,5

Ces deux derniers appareils réduisent de moitié la consommation. Il ne faut pas oublier cependant que le rendement lumineux n'est pas le seul point intéressant, le remplacement des cheminées, des manchons, les facilités de manipulation sont autant de coefficients qui doivent entrer en ligne de compte dans le choix d'une lampe.

§ 3. — Éclairage aux huiles lourdes

44. Préliminaires. — Lorsque la densité de l'huile minérale atteint 0,850, il devient difficile, sinon impossible, de se servir des appareils précédents ; il est nécessaire alors de recourir à un mécanisme spécial pour produire l'ascension du liquide. On emploie naturellement des huiles épurées grossièrement : il s'agit, en effet, d'obtenir un éclairage très économique. Le principe consiste à réduire le liquide en vapeur avant de le brûler, et à se servir de la flamme du brûleur pour produire cette gazéification. On a recours, pour obtenir l'ascension du liquide, à l'air comprimé ; quelques tentatives même ont été faites pour installer une canalisation spéciale pour la distribution de l'air comprimé

à chaque brûleur ; mais cette complication a été abandonnée, et actuellement chaque lampe porte elle-même le mécanisme nécessaire à la compression de l'air.

Nous allons examiner les derniers appareils imaginés pour ce genre d'éclairage.

45. Lampe Doty. — Elle est formée par un récipient en tôle d'acier de $0^m,55$ de hauteur sur $0^m,45$ de diamètre, recevant, à sa partie supérieure, le brûleur proprement dit et une pompe à main à double effet. Cette dernière sert à comprimer, à 1 atmosphère, l'air du réservoir rempli d'huile aux trois quarts seulement. La pression s'exerçant sur le liquide le fait monter par un tube métallique qui plonge au fond du réservoir jusqu'à la partie haute du brûleur. Ce dernier est constitué par un serpentin dont les spires s'enroulent de haut en bas, de manière que l'extrémité se redresse verticalement dans l'axe même du serpentin. On comprend aisément que l'huile minérale, en parcourant les spires, s'échauffe progressivement et finisse par se vaporiser en arrivant à l'ajutage vertical où elle est enflammée. La flamme, en léchant le serpentin, fournit elle-même la chaleur nécessaire à la gazéification. On règle le débit au moyen d'un robinet placé sur le tube vertical d'ascension. Le remplissage du réservoir se fait par une bonde à sa partie supérieure, enfin un manomètre indique la pression de l'air.

Pour allumer la lampe, il est nécessaire de recourir à un chauffage préalable du serpentin. A la base de ce dernier, se trouve un godet rempli d'amiante que l'on arrose d'huile lourde ou de pétrole qu'il suffit d'enflammer pour chauffer les spires. Au bout de cinq à six minutes, on peut ouvrir progressivement le robinet d'arrivée de l'huile pour mettre l'appareil en service. La flamme de cette lampe mesure près de 90 centimètres de longueur ; sa puissance lumineuse serait d'environ 75 carcels pour une consommation de 4 kilogrammes d'huile à l'heure. L'appareil est remarquable par sa grande simplicité ; il pèse 70 kilogrammes environ.

46. Lampe Wells. — Le brûleur de la lampe Doty est beaucoup trop bas ; dans le système Wells il a été surélevé

d'une quantité qu'on peut, du reste, faire varier suivant les besoins. Le réservoir P (*fig.* 32), analogue au précédent, porte sa pompe à main M. Le robinet de réglage du débit B est à vis, et son boisseau est contenu dans une partie mobile formant filtre, empêchant ainsi les grumeaux d'arriver au brûleur. Ce dernier est formé par un serpentin à axe horizontal. Il vient se placer sur le tube d'ascension A, au moyen d'un joint spécial étanche E. Les spires *a* ne sont plus circulaires, mais carrées, présentant à chaque sommet des bouchons à vis qu'on peut démonter pour enlever au burin les dépôts de graphite qui se sont formés. Il faut faire ce nettoyage après chaque fonctionnement de l'appareil.

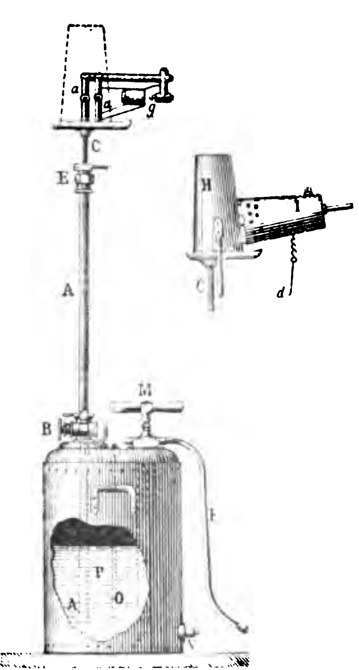


Fig. 32. — Lampe Wells.

L'axe du serpentin est horizontal et le jet liquide, amené dans cette direction par un double retour d'équerre, s'échappe, pulvérisé, par la tuyère *g*. La flamme est guidée au moyen d'un cône. Pour amorcer la lampe, au-dessous du serpentin se trouve disposée une coupe C, dans laquelle on met les déchets imbibés d'essence ou de pétrole, et recouvert d'une cheminée H pour le chauffage préalable du brûleur. L'allumage se fait comme précédemment, c'est-à-dire qu'au bout de cinq à six minutes les spires sont suffisamment chaudes pour gazéifier l'huile lourde. La coupe sert, en outre, à recueillir, pendant la marche de l'appareil, les gouttelettes liquides qui peuvent s'échapper

de la tuyère. Pour donner plus de fixité à la flamme, on entoure le brûleur d'une enveloppe en tôle ou garde-brûleur I avec une épinglette *d* pour nettoyer la tuyère en cas d'obstruction de cette dernière. Toutes les quatre ou cinq heures, il est nécessaire de donner quelques coups de piston pour remonter la pression et ajouter en même temps du liquide par le tube d'aspiration F. On note la pression au moyen d'un manomètre, et une tige O sert d'indicateur de niveau de l'huile.

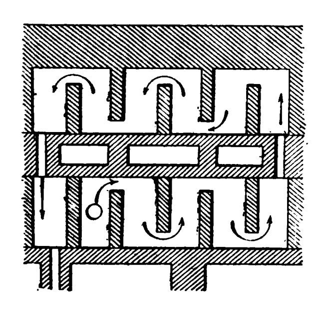
La flamme de la lampe Wells a les mêmes caractères que celle de la lampe Doty. Elle donne une intensité moyenne de 100 carcels avec une consommation de $5^{kg},5$ à l'heure. Cette lampe est assez volumineuse; de plus, elle nécessite des huiles lourdes sans grumeaux; enfin il faut nettoyer le brûleur à des intervalles assez rapprochés.

47. Lampe Seigle. — L'appareil comprend un réservoir d'alimentation contenant l'huile lourde qu'on refoule dans le brûleur comme dans la lampe Wells. Le brûleur peut être placé directement sur un tube métallique simple ou à rallonge ou bien encore à l'extrémité d'un tube souple articulé. Il est formé de deux boisseaux en fonte A évidés et séparés par une rondelle ajourée B. L'assemblage est obtenu au moyen de boulons de serrage. L'huile circule dans le vide annulaire des boisseaux en serpentant, grâce aux chicanes dont ils sont munis. Elle arrive par un conduit *a* au bas du serpentin, pour déboucher par un deuxième conduit à travers un bouchon D portant un tube-filtre F percé à sa base de trous assez gros. Le filtrage est obtenu au moyen de paille de fer légèrement tassée. L'intérieur des boisseaux livrant passage à la flamme sert de gaine de chauffage (*fig.* 33).

Une coupe G entoure le bas du brûleur sur lequel elle est fixée par un boulon à manette *b* pour orienter la flamme. Elle sert, comme dans la lampe Wells, au chauffage préalable du serpentin obtenu en brûlant un peu de pétrole. La rondelle B présente intérieurement un tronc de cône *t* dont la pointe débouche dans le boisseau supérieur en laissant un vide pour l'aspiration de l'air, empêchant ainsi tout dépôt

de coke sur la paroi. L'ensemble du brûleur est porté par deux tourillons *a* se réunissant au-dessous en forme d'étrier; une des branches est creuse et sert à l'arrivée de l'huile. La mise en marche demande cinq minutes environ; la lampe peut fonctionner quinze heures. Sa dépense est, comme dans la lampe Wells, de $5^{kg},5$ par heure avec une intensité

Coupe *xy*. — Chicanes des boisseaux.



Coupe verticale du brûleur.

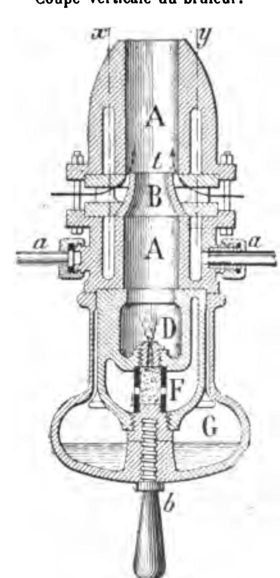


Fig. 33. — Lampe Seigle.

de 100 carcels. Le réservoir comporte, comme toujours, les organes complémentaires qu'on trouve dans toutes les lampes à huile lourde.

L'éclairage aux huiles lourdes est d'un emploi très limité et ne convient guère que pour les installations provisoires en plein vent comme chantiers, expositions, où il peut rendre alors de très grands services, à la condition toutefois d'être fort simple et d'une manipulation facile; à ce point de vue, toutes les lampes précédentes donnent satisfaction.

CHAPITRE IV

DISTILLATION DE LA HOUILLE

---

§ 1. — Production du gaz

48. Houille. — Diverses substances sont susceptibles de donner du gaz d'éclairage ; mais la plus employée est la houille. Le principe de la fabrication du gaz, au moyen de cette matière, consiste à la chauffer en vase clos et à recueillir le produit de la distillation après l'avoir débarrassé des impuretés qui nuisent à son pouvoir éclairant. La méthode n'a pas sensiblement varié depuis l'origine; tout au plus quelques modifications ont-elles été apportées dans le mode de chauffage et dans les appareils d'épuration.

Toutes les houilles ne conviennent pas également à la production du gaz d'éclairage. On emploie de préférence les houilles dites *grasses* et *sèches* à longue flamme. Elles sont très riches en matières volatiles et donnent, de plus, des résidus très recherchés. L'hydrogène entre pour une large part dans leur composition ; il facilite la formation des hydrocarbures qui donnent au gaz son pouvoir éclairant. En second lieu, l'oxygène ne s'y trouve qu'en petite quantité; par suite, l'acide carbonique et l'oxyde de carbone s'y forment dans une faible proportion. Depuis l'apparition des brûleurs à incandescence, où le pouvoir calorifique joue un très grand rôle, ces considérations ont perdu de leur importance.

La houille employée provient plus particulièrement du nord de la France, du bassin de Newcastle en Angleterre, de la Silésie et de la Westphalie en Allemagne. Avant leur emploi, les houilles doivent être essayées. Cette opération a surtout pour but l'établissement des mélanges, de manière à obte-

nir un gaz de composition constante. L'essai a lieu dans un appareil spécial qui n'est autre qu'une usine à gaz en réduction. On prélève, sur la masse de houille des échantillons en des points différents qu'on mélange en les réduisant de plus en plus jusqu'à obtenir un échantillon définitif de 100 grammes à 1 kilogramme. La qualité de la houille se mesure par la puissance lumineuse du gaz obtenu et par la comparaison du rendement en gaz et en produits secondaires. Il est facile de corriger ce rendement par l'addition de charbons d'enrichissement ou charbons spéciaux donnant un gaz d'un pouvoir éclairant plus considérable. La houille doit être conservée à l'abri de l'humidité qui peut diminuer le rendement de 25 0/0.

49. Cornues. — La distillation de la houille s'effectue dans des cornues cylindriques en fonte ou en terre réfractaire, ayant généralement une section en forme de ⌓ et disposées horizontalement par groupes de cinq, sept, neuf ou onze dans des fours spéciaux. Les cornues en terre sont préférables à cause de leur prix d'achat moindre et de leur plus grande durée, conséquence de leur résistance à la chaleur. Deux qualités sont à rechercher dans les cornues en terre : la solidité et l'imperméabilité ; on ne peut les obtenir qu'en donnant à l'appareil une épaisseur suffisante. Toutefois elle ne saurait être exagérée, sinon la conductibilité se trouve diminuée d'autant, et le chauffage extérieur est mal utilisé. Les dimensions des cornues sont très variables, mais le plus souvent elles se rapprochent des chiffres suivants :

Largeur dans œuvre..............	$0^m,50$ à $0^m,65$
Hauteur..........................	0 ,30 à 0 ,45
Longueur.........................	2 ,50 à 3 ,20
Épaisseur........................	0 ,05 à 0 ,06

Avec des cornues ouvertes des deux côtés on peut atteindre 6 mètres de longueur. Elles se font à la main ou mécaniquement. Ce dernier procédé de fabrication a comme avantage de pouvoir obtenir une épaisseur moindre dans les mêmes conditions de solidité et de durée, tout en coûtant moins

cher de main-d'œuvre. Avec la presse Morane on peut faire, avec 6 hommes, 12 cornues par jour, tandis qu'à la main un homme n'en fait qu'une seule. Il semblerait qu'on ait intérêt à augmenter le volume de la cornue, mais il y a une limite sanctionnée par la pratique, car il ne faut pas oublier que le chargement doit se faire très vite. En Angleterre, on emploie des cornues dont le corps est en plusieurs pièces assemblées à rainure et languette; le joint est rendu étanche au moyen d'un mastic ou lut. La durée d'une cornue est de deux ans environ.

La partie antérieure des cornues, qui correspond d'ailleurs à la façade du four, est munie d'une pièce en fonte ou *tête de*

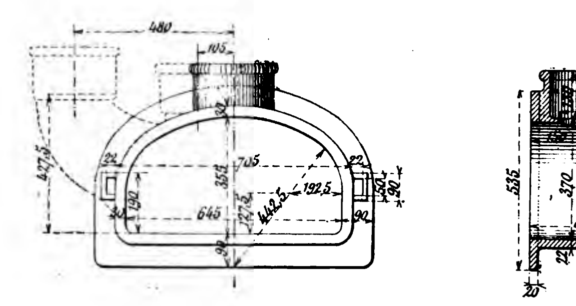
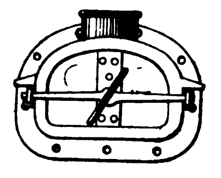


Fig. 34. — Tête de cornue.

cornue, destinée à faire communiquer la cornue avec les appareils suivants et à former fermeture hermétique, pendant la distillation, au moyen d'un tampon.

Cette tête de cornue (*fig.* 34), qui a généralement 0^{m},30 de long et une section semblable à celle de la cornue, est munie d'une collerette pouvant s'appliquer sur une deuxième collerette ménagée à l'extrémité de la cornue ; l'assemblage est fait au moyen de boulons. Elle porte, en outre, soit perpendiculairement à son axe, soit sur le côté, un emboîtement destiné à recevoir le tuyau ascensionnel des produits de la distillation. Le tampon de fermeture peut être constitué par une tôle emboutie dont les bords sont garnis à chaque opéra-

tion d'un mastic ou lut formé par un mélange de terre argileuse et de limaille de fer. Ce tampon est maintenu par une vis de pression passant dans l'écrou d'une traverse mobile reliée à la tête par deux oreilles (*fig.* 35).



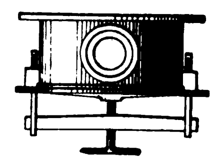


Fig. 35. — Tampon de cornue.

Le tampon peut être remplacé par une porte mobile autour d'une charnière fixée à l'une des extrémités de la tête. Cet obturateur devant s'appliquer à joint précis sans lut, la tête de la cornue est rodée préalablement. La porte est maintenue à l'extrémité opposée à la charnière par une pièce en fer. Le rodage de la tête peut se faire mécaniquement ou à la main.

50. Fours à gaz. — *Construction.* — Les fours sont constitués par une voûte en briques réfractaires limitée, à l'arrière, par un mur de fond contre lequel s'appuie l'extrémité des cornues, et à l'avant par un mur de façade à travers lequel passent les têtes. Les cornues sont disposées dans les fours de façon à être rapprochées autant que possible du foyer ; de petits murs en terre réfractaire ou en briques construits entre les cornues et formant chicanes obligent la flamme à circuler près des parois (*fig.* 36 et 36 *bis*).

Les dimensions des foyers sont proportionnées au nombre et à la capacité des cornues ; la largeur des grilles varie de $0^m,35$ à $0^m,50$, et la longueur de $0^m,70$ à 1 mètre. On compte 1 mètre carré par 100 ou 120 kilogrammes de combustible. Les barreaux des grilles destinées à brûler du coke sont généralement peu nombreux, mais de fortes dimensions, afin de résister à la chaleur. On les espace de 3 à 4 centimètres pour le coke, leur épaisseur varie de 15 à 30 centimètres. La grille est inclinée de l'avant à l'arrière pour faciliter le chargement. Dans le cendrier on envoie de l'eau qui, en s'évaporant, refroidit la grille et donne des gaz combustibles brûlant dans le four au contact de l'air admis toujours en quantité suffisante.

Chauffage des fours. — Le combustible le plus généralement employé est du coke provenant de la distillation même de la houille. Dans ces conditions la profondeur du

Élévation et coupe verticale.

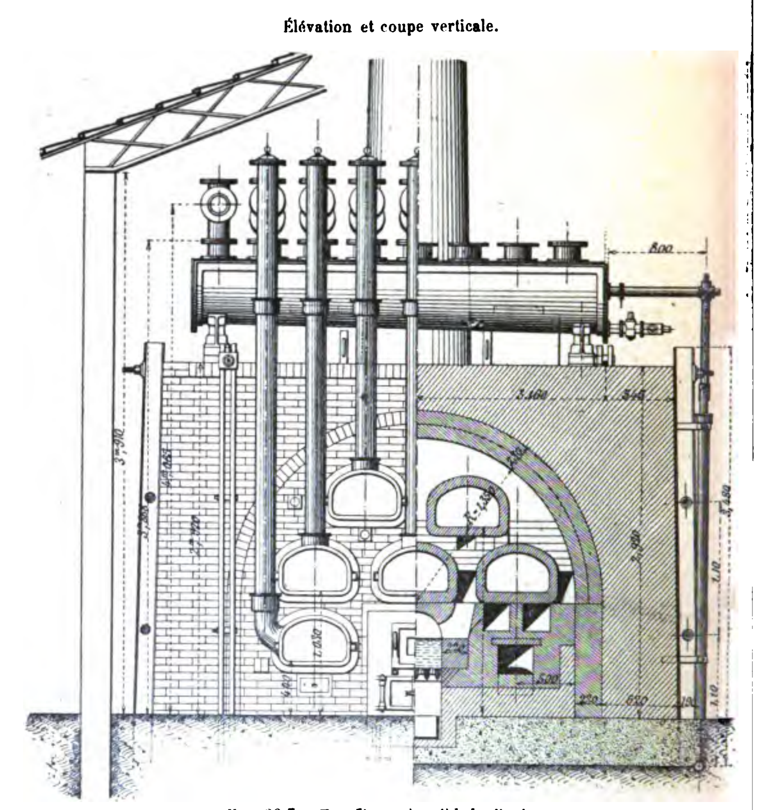


Fig. 36. — Four à combustible ordinaire.

foyer doit être assez grande pour permettre le chargement du combustible sur une épaisseur assez forte, $0^{m},25$ à $0^{m},30$. L'intervalle entre la grille et la première cornue est de $0^{m},60$ environ. Le tirage est réglé au moyen de registres placés à l'entrée des cheminées traînantes ou carneaux qui

conduisent les produits de la combustion dans la cheminée principale de l'usine. Il faut 200 à 220 kilogrammes de coke, soit 5 hectolitres, pour produire la distillation d'une tonne de houille. Dans ces conditions, la durée d'un four n'excède pas une année.

On applique aux fours à gaz le chauffage à récupération de

Coupe transversale.

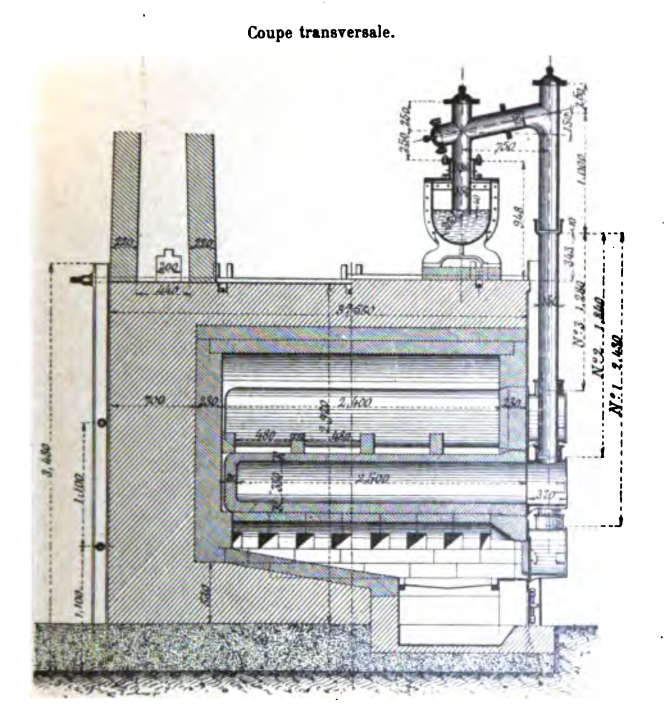


Fig. 36 *bis*. — Four à combustible ordinaire.

chaleur préconisé dans d'autres industries. Au lieu d'utiliser directement le combustible dans le foyer, on le transforme d'abord en oxyde de carbone mélangé d'azote que l'on brûle ensuite au moyen d'air chaud. L'oxyde de carbone est préparé dans des appareils spéciaux ou gazogènes. Sur une épaisseur

de 0m,75 à 1 mètre de coke disposé sur une grille à gradins, on fait passer de l'air à petite vitesse ; à son contact, le charbon donne de l'acide carbonique, et celui-ci à son tour, en tra-



Élévation et coupe verticale.

FIG. 37. — Four à récupération.

versant de nouvelles couches de combustible portées au rouge sombre, se transforme en oxyde de carbone. Ce dernier gaz, encore chaud (800°), est amené sous les cornues où il

rencontre de l'air préalablement chauffé. La combustion assez vive des deux donne des températures très élevées. Le chauffage de l'air est obtenu au moyen des chaleurs emportées

Coupe transversale.

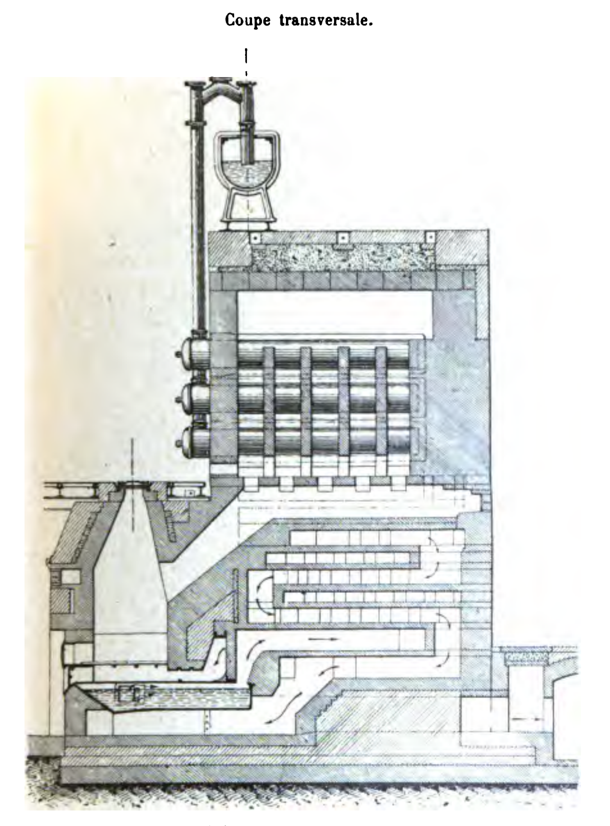


Fig. 37 *bis*. — Four à récupération.

par les produits de la combustion. C'est le principe de la récupération. Pratiquement, ce résultat est obtenu dans un espace rempli de briques ou poteries superposées, laissant des

vides entre elles, dans lesquels passent les gaz de la combustion (*fig.* 37 et 37 *bis*). Lorsqu'elles sont suffisamment chaudes, on cesse de faire passer ces fumées qu'on envoie dans une deuxième chambre, et on les remplace par de l'air froid qui s'échauffe progressivement. Au bout d'un certain temps, on renverse la marche, c'est-à-dire que les fumées passent dans la première chambre, et l'air froid dans la seconde; ainsi de suite, à intervalles réguliers, en général toutes les heures. La récupération est assez importante: les fumées, qui arrivaient autrefois à la base de la cheminée à 1.000 et 1.100°, ne s'échappent plus qu'à 400°, d'où il résulte une économie réelle de combustible sur les fours ordinaires. Il faut environ 110 à 180 kilogrammes de coke par tonne de houille distillée suivant l'importance des fours, soit une économie de 23 0/0 environ; mais cette réduction est compensée en partie par l'excédent des dépenses d'installation et d'entretien. Ces fours ont cependant comme avantage de donner une température plus constante et une marche plus régulière, tout en permettant de brûler des combustibles quelconques.

Les premiers essais, dérivés du système Siemens, ne furent pas très satisfaisants au point de vue de l'entretien et du nettoyage. Ils ont été rendus pratiques, grâce aux modifications de M. Lencauchez et de M. Ponsard. Les améliorations consistent à rapprocher le gazogène du four et, surtout, à diminuer le tirage (quelques millimètres d'eau), au moyen de barrages, de manière à forcer tout l'acide carbonique à se transformer en oxyde de carbone, en restant plus longtemps au contact du coke. En second lieu, le cendrier a été fermé hermétiquement de manière à empêcher tout rayonnement. Enfin sous le coke on injecte de la vapeur d'eau qui donne, en se décomposant, de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène combustibles.

Dans ces installations le récupérateur se trouve sous les fours à une profondeur de 3 à 4 mètres dans le sol, le gazogène est placé à l'avant; le chargement en est très facile, il suffit de laisser tomber le coke par une trémie ou gueulard au niveau du sol. Lorsqu'il est impossible, pour une raison quelconque, d'installer complètement un récupérateur, on a recours à un système mixte qui consiste à donner au foyer

ordinaire une profondeur un peu plus grande, $0^m,80$, et à chauffer l'air de la combustion seulement. Il n'y a plus ren-

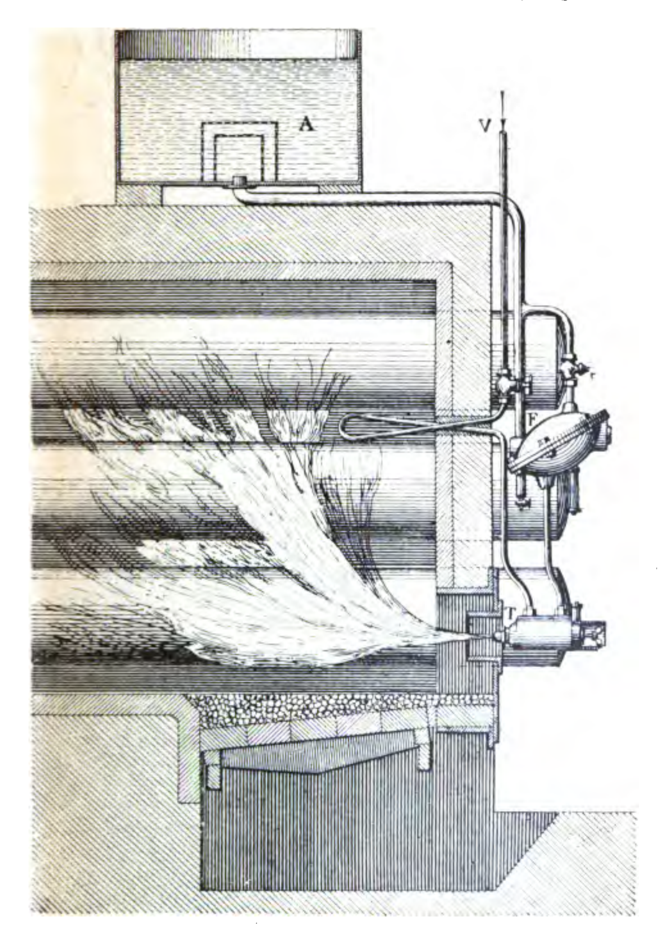


Fig. 38. — Four à goudron.

versement. L'économie de coke est moins considérable, mais cependant assez importante.

Un four comporte dans ces conditions six, huit ou neuf cornues avec un seul gazogène par four. Au lieu de coke, on peut employer des résidus de houille, ou même tout autre combustible solide, suivant le cas. Sa durée est plus grande que celle du four ordinaire ; elle atteint facilement trois ans.

La construction en briques des fours est consolidée au moyen d'armatures. Ils sont, en général, réunis entre eux de manière à former une batterie. Cette disposition augmente leur stabilité, tout en réduisant les pertes de chaleur. A l'usine du Landy de la Compagnie parisienne, il existe, depuis 1889, une batterie de douze fours à neuf cornues, soit cent huit cornues ; ils sont disposés sur deux rangées de six, adossés ; il n'y a qu'un gazogène pour deux fours.

Four à goudron. — Depuis quelques années on utilise le goudron au chauffage des cornues ; ce procédé, dû à Kirkham, est, paraît-il, assez économique, surtout pour les usines qui écoulent difficilement leurs goudrons. Le liquide venant d'un réservoir A est lancé, après avoir traversé un filtre F, dans une tuyère T au moyen d'un jet de vapeur V (injecteur Drory); il débouche dans le foyer sous forme de poussière très fine (*fig.* 38). Il faut compter 80 à 100 kilogrammes de goudron pour une tonne de houille distillée.

Conduite du chauffage. — Les cornues reçoivent une couche uniforme de 100 à 150 kilogrammes de houille ; elles ne doivent jamais être remplies complètement ; car, sous l'action de la chaleur, le charbon se boursouffle et peut faire éclater la cornue ; la couche est de 10 à 12 centimètres. La durée de la distillation est de quatre à cinq heures environ. Tout le gaz n'a pas été extrait, mais ce qui reste a un pouvoir éclairant trop faible. Le tableau suivant, dû à Payen, donne la composition du gaz pendant la distillation d'une durée de cinq heures.

HEURES	RAPPORT du VOLUME total produit	HYDROGÈNE BICARBONÉ	HYDROGÈNE CARBONÉ	HYDROGÈNE	OXYDE de CARBONE	AZOTE	RAPPORT de la LUMIÈRE
1re heure	21,3	13	82,5	»	3,2	1,3	54
2e —	25,4	12	72,0	8,8	1,9	5,3	48
3e —	21,3	12	58,0	16,0	12,3	1,7	40
4e —	14,0	7	56,0	21,3	11,0	4,7	35
5e —	8,2	0	20,0	10,0	10,0	10,0	10

Comme on le voit, au bout de quatre heures, la majeure partie du gaz éclairant a été recueillie.

Au début de l'opération, il faut une chaleur très vive, la houille doit être saisie brusquement de manière que les hydrocarbures riches n'aient pas le temps de se décomposer. La température de distillation est comprise entre 800° et 1.300°. En général, quand on veut produire beaucoup sans trop diminuer le titre du gaz, il faut distiller à haute température et augmenter l'épaisseur de houille. La distillation à température peu élevée et en couches minces donne moins de gaz, mais son pouvoir éclairant est supérieur. Le débit des fours n'est pas proportionnel au nombre des cornues; en admettant que 100 kilogrammes de houille donnent 30 mètres cubes de gaz environ; la production d'une cornue en vingt-quatre heures sera de 250 mètres cubes dans le cas d'un four à huit cornues; mais, pour un nombre plus faible d'appareils, le débit peut n'atteindre que 200 mètres cubes avec un four à trois cornues.

Le service des fours est assez pénible; pour huit fours, il faut compter huit hommes ayant chacun une fonction spéciale: chargement des cornues, extraction du coke incandescent, chauffage des fours, et enfin fermeture des cornues. Le chargement des cornues se fait le plus souvent à la pelle ou à la cuillère. Ce dernier procédé consiste simplement à introduire dans la cornue un demi-cylindre rempli de charbon (100 kilogrammes environ par charge), qu'on retourne ensuite brusquement pour déverser le combustible en couche uniforme.

On a essayé d'obtenir mécaniquement le déplacement des cuillères de chargement (système Runge), mais, de tous les procédés mécaniques usités, il n'y a guère que le système Coze qui ait été développé ; les cornues, au lieu d'être placées horizontalement, sont inclinées à 30° ; la houille, introduite par le haut, descend tout doucement et, à la partie inférieure, on recueille le coke. Le grand avantage des procédés mécaniques est de ne pas exiger d'ouvriers spéciaux ; de plus, on peut donner alors aux appareils des dimensions beaucoup plus grandes; quelques cornues atteignent 6^{m},30 de long, la charge est alors de 400 kilogrammes.

Quand la distillation est achevée, on procède au déchargement. A cet effet, le chauffeur desserre un peu la vis de pression qui produit la fermeture et écarte légèrement l'obturateur en présentant au dessus une allumette ou une étoupe pour enflammer le gaz qui s'échappe à travers les fissures du lut. Cette précaution a pour but d'éviter l'explosion qui se produirait au contact immédiat de l'air rentrant dans la cornue, si l'on enlevait d'un seul coup le tampon.

La conduite du foyer ne présente rien de spécial. En ce qui concerne les fours à récupération, il faut avoir soin de retirer de temps à autre les cendres du gazogène, sans interrompre le chauffage. Le combustible est maintenu alors par une grille provisoire, et on vide le cendrier, ouvert seulement à ce moment.

La distillation étant continue, les cornues ne tardent pas à se couvrir intérieurement d'une couche de carbone appelé graphite, par analogie au graphite naturel, ou encore charbon de cornues. Pour les nettoyer, il suffit de faire passer un courant d'air qui brûle ce charbon.

51. Produits de la distillation. — La houille, en distillant, donne un produit volatil, le gaz, et laisse un résidu, le coke. Le gaz ainsi préparé ne saurait être employé directement; il renferme un grand nombre d'impuretés qui, non seulement, le rendent impropre à l'éclairage, mais en font encore un produit dangereux. Les principaux résidus provenant de son épuration sont le goudron et l'eau ammoniacale.

Cent kilogrammes de houille donnent:

Gaz	29,00 à 31^{m3},00	
Coke	65,00 à 70^{kg},00	soit 1,6 à 1,8 hectolitre
Goudron	3,50 à 6^{kg},00	soit 3 à 6 litres
Eau ammoniacale.	4,00 à 9^{kg},00	soit 4 à 8 litres

A sa sortie de la cornue le gaz renferme une série de produits utiles qui comprennent :

	P. 100	
De l'hydrogène H.......	45 à 50	Peu ou pas éclairants, mais combustibles
Du gaz des marais ou méthane CH^4.........	32 à 38	
De l'oxyde de carbone CO.	5 à 16	
Des hydrocarbures lourds C^nH^n.................	3 à 10	Éclairants

La partie éclairante est, en réalité, très faible ; les hydrocarbures lourds qui la composent sont de la série aromatique, comme le *benzol* (C^6H^6), le *toluène* (C^7H^8), de carbures absorbables par le brome (*éthylène* C^2H^4, *propylène* C^3H^6, *acétylène* C^2H^2). Tous ces composés sont formés directement ou proviennent de la décomposition d'autres carbures. La présence de quelques-uns, comme le benzol par exemple, joue un rôle prépondérant, quoi qu'il n'entre à peine que pour 0,95 0/0 dans la composition du gaz. Il y a encore un autre carbure important, la *naphtaline* ($C^{10}H^8$) ; mais il se dépose en grande partie dans l'épuration, et sa condensation trop facile dans les conduits est plutôt une gêne.

Les produits inutiles et même nuisibles sont :

L'acide carbonique CO^2 ;

L'hydrogène sulfuré H^2S ; le sulfure de carbone CS^2;

L'ammoniaque AzH^3 ; le cyanogène CAz (AzH^4) ;

L'azote et l'oxygène.

La houille renferme de l'azote, du soufre, qui, avec l'hydrogène, donnent de l'ammoniaque, de l'hydrogène sulfuré, dont il faut se débarrasser ; on a recours à la propriété qu'a l'ammoniaque de se dissoudre dans l'eau, et l'acide sulfhydrique d'être absorbé par un composé spécial d'oxyde métallique qui se combine avec lui. Quant à l'acide carbonique, qui entre pour une certaine quantité dans la composition du

gaz (1,5 à 3 0/0), il est facile de s'en débarrasser en le faisant absorber par la chaux. Le cyanogène, qui provient de la décomposition de l'ammoniaque en présence du carbone, est retenu dans le réactif de l'acide sulfhydrique.

Il en résulte que, pour enlever du gaz ces impuretés, il faut le soumettre à deux sortes d'épuration : physique et chimique. Les moyens physiques employés sont la dissolution et la condensation. Le premier s'applique plus particulièrement à l'ammoniaque, le second aux carbures lourds qu'on ne peut garder et dont le mélange constitue le goudron. L'épuration chimique sert à faire disparaître l'hydrogène sulfuré.

52. Épuration physique. — *Barillet.* — En sortant de la cornue, le gaz se rend, au moyen d'un tuyau ascensionnel de 130 à 160 millimètres de diamètre, dans un cylindre horizontal de 500 à 800 millimètres, ou barillet, qu'on place au-dessus des fours. A la partie supérieure du tuyau vertical se trouve un tuyau oblique appelé *pipe*, auquel se raccorde un tube plongeur qui pénètre de 30 à 40 millimètres dans l'eau qui remplit à moitié le barillet (*fig.* 36 et 37).

Le barillet a pour but d'arrêter les goudrons lourds et l'ammoniaque, tout en formant joint hydraulique entre les cornues et les appareils qui suivent; les plongeurs pénètrent suffisamment dans l'eau du barillet pour que, pendant l'arrêt, la pression venant du gazomètre ne puisse pas refouler l'eau et permettre un retour du gaz dans les cornues. Au contraire, lorsque les cornues sont en service, la pression qui s'y développe permet au gaz de traverser l'eau en s'échappant au bas des plongeurs et de se rendre aux appareils suivants. L'excès de pression dans les cornues étant nuisible au rendement, on doit s'attacher à rendre minima la hauteur d'immersion.

Siphon. — Lorsque l'eau du barillet est par trop chargée de goudron, on l'évacue au moyen de siphons dans des citernes ou réservoirs et on la remplace par de l'eau pure. La figure 39 indique un dispositif de siphon d'évacuation. Une pièce en fonte B, munie d'un tampon de nettoyage boulonné C, est adaptée avec des boulons sur le fond du barillet; l'extrémité

de cette pièce plonge dans une cuvette D en tôle, supportée contre le four par des consoles en fer. Cette cuvette, d'abord pleine ne tarderait pas à se vider si on n'avait soin d'en renouveler l'eau; il n'est pas possible au gaz de s'échapper, puisque l'extrémité de B plonge dans le liquide d'environ 0m,30; le goudron et l'eau ammoniacale, au contraire, y coulent facilement, remplissant constamment la cuvette ; le trop-plein se déverse dans un conduit qui l'évacue dans les citernes.

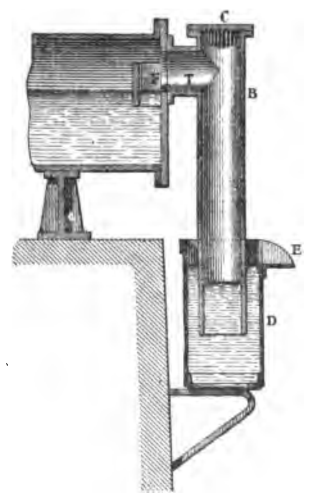


Fig. 39. — Siphon de barillet.

Les barillets doivent être nettoyés de temps à autre, afin de les débarrasser de la couche de goudron qui finirait par les obstruer ; on fait coïncider cette opération avec celle de la réfection des fours. Dans certaines usines on emploie des barillets à tabatière dont le nettoyage peut s'effectuer en cours d'exploitation. Ces barillets sont divisés en deux compartiments par une cloison ne descendant pas jusqu'au fond ; l'un des compartiments reçoit les plongeurs, l'autre se ferme par de petites trappes en tôle qu'il suffit de soulever pour enlever les dépôts qui se trouvent au fond du barillet.

Collecteur. — Jeu d'orgue. — A sa sortie du barillet, le gaz, à 60° environ, est dirigé dans un conduit horizontal appelé *collecteur* dont le diamètre doit avoir 0m,70 pour un débit journalier de 3.000 mètres cubes de gaz et 1 mètre pour les débits supérieurs. Il n'y en a donc que dans les usines importantes. Les collecteurs sont établis dans le local même des fours, afin d'obtenir une température assez élevée pour empêcher toute condensation des carbures éclairants. La dissolution de la benzine, du toluène et de la naphtaline est

d'autant plus considérable que la température du goudron est plus basse. De là, l'obligation d'avoir dans les collecteurs au maximum 60° ; dans ces conditions la naphtaline qui bout à 210°, le toluène à 111°, et la benzine à 80°,5, restent en quantité suffisante.

Quand il sort des collecteurs, le gaz est encore chargé de goudrons légers et de vapeurs ammoniacales. Aussi doit-on compléter la condensation dans une série de tuyaux verticaux ou *jeu d'orgue* renversés sur une cuve où les produits condensés se déposent pour s'écouler ensuite dans des citernes (*fig.* 40).

La cuve est divisée par des cloisons verticales qui obligent le gaz à circuler dans tous les tuyaux; en général, la vitesse d'écoulement ne doit pas dépasser 3 mètres par seconde.

Dans le jeu d'orgue le refroidissement peut être produit directement par l'air ambiant ou bien en faisant couler sur les tuyaux de minces filets d'eau.

Pour diminuer la longueur des tuyaux, tout en leur conservant la même surface, on a imaginé de les faire annulaires (système Kirkham) ou à ailettes, mais alors le prix de l'appareil devient plus élevé. On recueille 20 à 22 kilogrammes de goudron par 1.000 mètres cubes de gaz.

Le gaz entre dans les tuyaux à 55° environ ; il en sort à 12 ou 15° ; connaissant sa chaleur spécifique 0,48 et le débit, il devient facile de calculer la surface réfrigérante que doit avoir le jeu d'orgue. On compte 20 à 25 mètres carrés par 1.000 mètres cubes de gaz fabriqués en vingt-quatre heures. Si les tuyaux sont à ailettes, il ne faut que 10 à 15 mètres carrés.

Condensateurs à choc. — Quelle que soit l'étendue du jeu d'orgue, la condensation du goudron n'est jamais complète, il en reste toujours une certaine quantité entraînée à l'état vésiculaire. Pour diminuer cet entraînement, on a imaginé de compléter la condensation par un choc mécanique.

Le principe consiste à faire heurter normalement le gaz contre des surfaces planes perforées placées devant lui. Dans le système *Pelouze et Audouin* l'organe principal est une cloche mobile à section octogonale formée par deux séries de

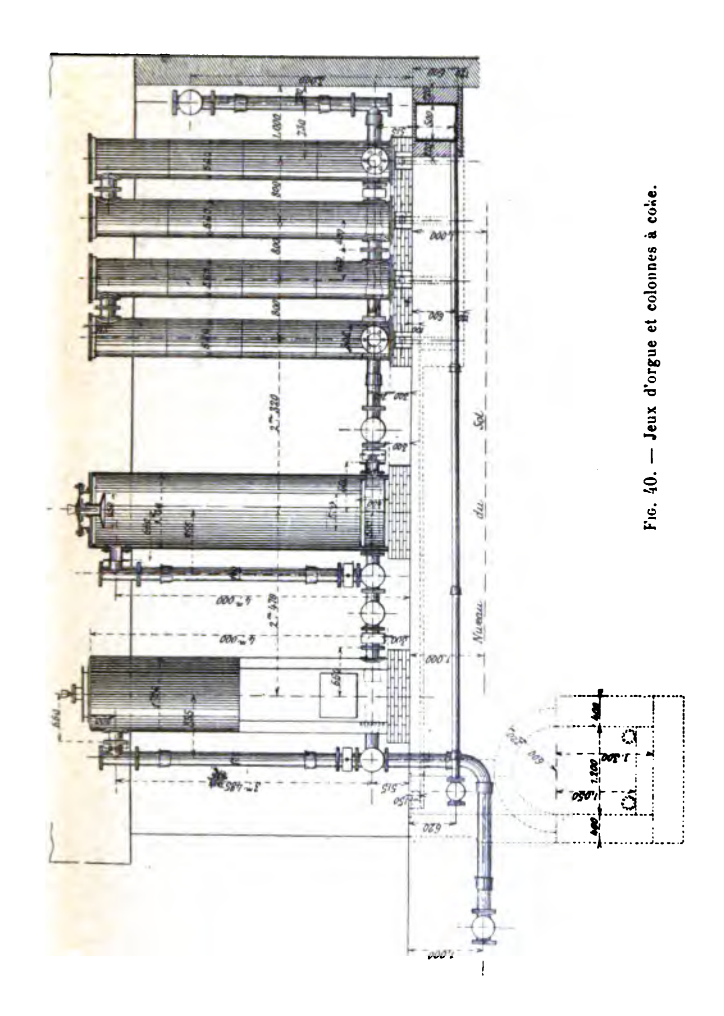


Fig. 40. — Jeux d'orgue et colonnes à coke.

plaques de tôle percées de trous circulaires de 1 millimètre et demi de diamètre ; après avoir traversé une plaque, les veines gazeuses viennent heurter les parties pleines de la seconde et s'échappent ensuite par ses orifices (*fig.* 41).

Cette cloche est logée dans un deuxième cylindre en fonte muni de deux tubulures, celle du bas pour l'arrivée du gaz ; celle du haut pour la sortie. La cloche se prolonge par une corde métallique enroulée sur une poulie, et munie d'un contrepoids pour l'équilibrer de manière à suivre les variations de la production. L'appareil absorbe de 40 à 60 millimètres de pression et ne doit pas fonctionner au-dessous de 20 millimètres. La température ne doit pas descendre également au-dessous de 15°.

Le condensateur *Servier* est un peu plus simple ; la cloche en tôle perforée est remplacée par des tiges cylindriques formant rideau et disposées suivant les génératrices d'un cylindre vertical. Le goudron ne reste plus dans les vides et se rassemble au fond de l'appareil. Il absorbe 20 à 25 millimètres de pression. Moins parfait que le premier, il convient surtout pour les petites usines. On retire 70 à 90 kilogrammes de goudron par 1.000 mètres cubes de gaz.

Scrubbers. — Condensateurs-laveurs. — Les appareils précédents, ainsi disposés, ne peuvent servir qu'à retenir le goudron. Pour se débarrasser de l'ammoniaque, très soluble dans l'eau, il suffit de laver le gaz dans ce liquide.

On emploie, à cet effet, de grands cylindres verticaux en fonte de 3 à 4 mètres de haut et d'un diamètre en rapport avec le débit de gaz, désignés sous le nom de *condensateurs à coke* ou *scrubbers*. Généralement au nombre de deux, ils contiennent chacun 25 à 30 hectolitres de coke, soit un volume de 2 à 3^{m3},5 par 1.000 mètres cubes de gaz. Ce dernier débouche par le bas, tandis que, par le haut, on fait couler de l'eau qui arrose le coke, à raison de 8 à 10 litres pour 100 mètres cubes de gaz. Il faut une quantité d'eau suffisante pour obtenir du gaz pur, tout en donnant des eaux ammoniacales saturées. On peut, pour plus de simplicité, n'avoir qu'une seule colonne séparée en deux par un diaphragme vertical ou munie de plateaux horizontaux formant chicanes.

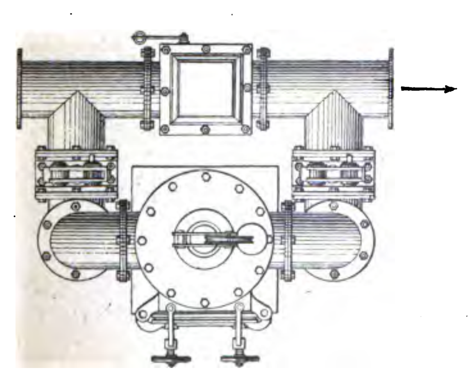


Fig. 41. — Condensateur Pelouze et Audouin.

M. *Chevalet* a imaginé un scrubber assez simple pour petites usines. Le cylindre vertical est coupé par une série de planchers horizontaux munis de petites cheminées par où s'échappe le gaz. Chaque diaphragme est pourvu d'un rebord vertical, de manière à former cuvette. On le remplit de coke ou de copeaux de bois. L'eau arrive par le haut, séjourne quelque temps dans chaque plateau avant de tomber dans celui au dessous. Pour le nettoyage, il suffit de retirer tous les planchers d'un seul coup, au moyen d'une tige qui les traverse tous.

Pour la dissolution complète de l'ammoniaque, on peut employer un *condensateur-laveur* analogue aux colonnes distillatoires. L'appareil consiste en une série de plateaux horizontaux superposés, possédant au milieu une large ouverture à rebord. Une paroi plane au-dessus du plateau force le gaz à se rabattre horizontalement et à s'échapper par les orifices ménagés sur la périphérie où il rencontre la nappe d'eau circulant en sens inverse et se dirigeant vers l'ouverture du milieu. Le lavage ainsi obtenu est fait d'une façon méthodique. Tous les plateaux sont enfermés dans un cylindre en tôle, le haut est libre de manière à recevoir une certaine quantité de coke. On compte généralement $0^{m^3},3$ à $0^{m^3},4$ d'appareil pour 100 mètres cubes de gaz en vingt-quatre heures, avec une consommation d'eau de 6 litres; l'eau ammoniacale obtenue est à 4°.

Au lieu de plateaux aussi compliqués, on peut employer de simples tôles perforées (système Chevalet) avec registres qui permettent de faire varier le nombre des trous et, par suite, la vitesse de circulation du gaz. Il faut absorber 20 à 30 millimètres de pression pour obtenir un bon lavage.

Nous citerons, pour les usines importantes dépassant la production de 3.000 mètres cubes en vingt-quatre heures, le laveur *Standard* (*fig.* 42). Il est formé par une série de tambours verticaux en fonte, traversés horizontalement par un arbre mû mécaniquement. Chaque compartiment comporte un certain nombre de disques en tôle, clavetés sur l'arbre et boulonnés ensemble; l'intervalle de 2 à 3 millimètres entre deux plaques est fixé au moyen de petits mamelons emboutis. L'eau arrive d'un côté de l'appareil, le gaz de l'autre.

L'arbre fait 5 à 10 tours par minute, entraînant les plaques de tôle dont une moitié plonge dans l'eau, et l'autre reste au dessus. Il faut 45 à 55 litres d'eau par tonne de houille. En

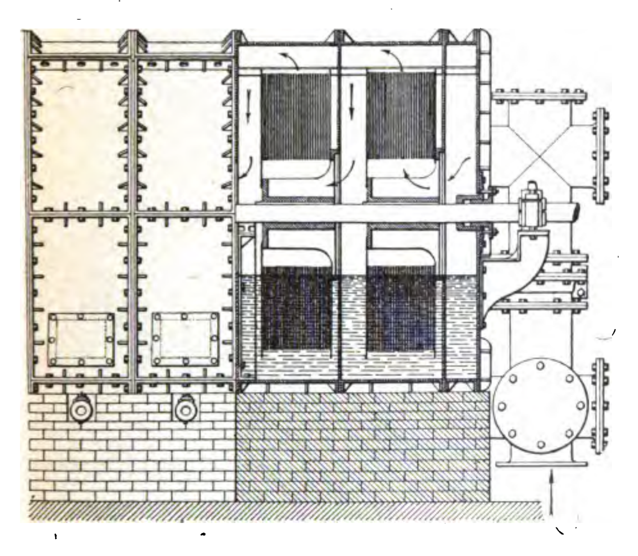
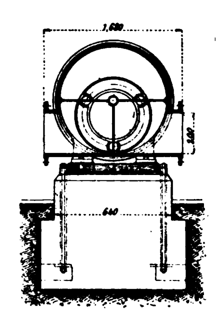


Fig. 42. — Laveur Standard.

règle générale, dans l'opération du lavage, il convient de commencer l'épuration par l'emploi d'eaux ammoniacales et de finir par l'eau pure. Le gaz impur, en contact avec l'eau ammoniacale, sature celle-ci; de plus l'acide carbonique du gaz décompose le sulfhydrate d'ammoniaque en donnant du carbonate très soluble et de l'acide sulfhydrique enlevé ultérieurement.

53. Extracteurs. — Sur le parcours du gaz, entre les cornues et l'épuration chimique, on intercale un appareil spécial désigné sous le nom d'extracteur ou d'exhausteur, qui a pour but d'aspirer le gaz des cornues pour le refouler dans le gazomètre. Avant son emploi, il fallait que la pression à la sortie

des cornues, fût au moins de 350 à 400 millimètres d'eau pour vaincre toutes les résistances créées par les différents appareils d'épuration. Cette pression exagérée avait comme conséquence d'augmenter les fuites et la production de graphite; de plus, il fallait arrêter la distillation avant sa durée normale de cinq heures. Les extracteurs ont permis d'augmenter la production du gaz de 12 à 15 0/0, aussi leur emploi est-il devenu général. Il y a deux sortes d'extracteurs : 1° les pompes rotatives; 2° les extracteurs à jet de vapeur.



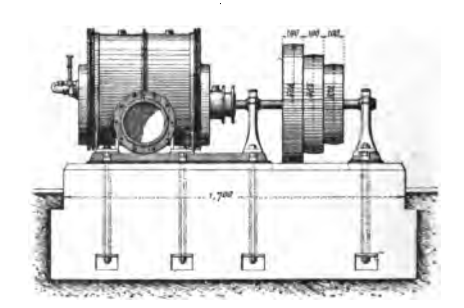


Fig. 43. — Extracteur Beale.

Les pompes rotatives et, en particulier, l'extracteur Beale, sont assez répandus. L'aspiration est produite par la rotation de deux plaques glissant l'une sur l'autre, à l'intérieur d'un cylindre horizontal (*fig.* 43). L'extracteur peut être à deux ou trois ailes. Le fonctionnement en est très régulier, il peut marcher à vitesse constante ou à vitesse variable, 70 à 100 tours par minute. Il se place après le jeu d'orgue, le goudron aidant son fonctionnement. On compte généralement sur une puissance de 1 cheval par 1.000 mètres cubes de gaz à l'heure et par centimètre de contre-pression. Du reste, si on désigne par h cette contre-pression en mètres; par Q, la quantité de gaz refoulée par seconde en mètres cubes, on aura pour la puissance effective T nécessaire :

$$T = 45Qh.$$

L'appareil précédent exige un moteur spécial. Pour éviter cette complication, on a imaginé d'appliquer au gaz le principe de l'injecteur de vapeur. L'extracteur, alors fort simple, se compose d'une tuyère avec aiguille pour le réglage de la sortie de la vapeur (*fig.* 44) ; le gaz aspiré est entraîné par cette

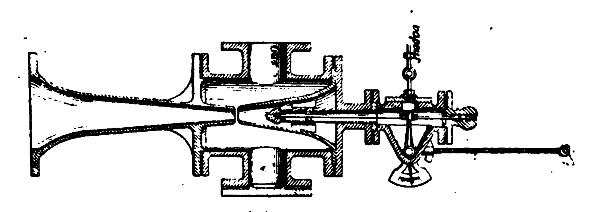


Fig. 44. — Extracteur à jet de vapeur.

dernière. Le mélange passe ensuite dans un cylindre muni de tuyaux verticaux plongeant dans l'eau froide, de manière à condenser la vapeur. Au contraire du précédent, il faut placer l'extracteur après l'enlèvement complet du goudron, qui ne tarderait pas à l'encrasser. La consommation de vapeur est de 8 kilogrammes à 5 atmosphères par 1.000 mètres cubes de gaz aspiré et par centimètre de contrepression; quant au condensateur, il faut compter, dans ces conditions, 4 mètres carrés de surface réfrigérante.

L'emploi d'extracteurs exige l'installation d'appareils spéciaux ou régulateurs. On comprend aisément qu'il puisse y avoir excès ou arrêt dans la production des cornues et, quel que soit le cas, risque d'accident. Un régulateur fort simple consiste à installer, sur la conduite de gaz, une cloche ou régulateur de vide, dont les mouvements peuvent modifier soit la quantité de vapeur admise par l'extracteur, soit le débit du gaz, et permettre à une partie du fluide refoulé d'être aspirée à nouveau.

54. Épuration chimique. — Elle a pour but de débarrasser le gaz des produits nuisibles : acide carbonique, hydrogène sulfuré, cyanogène, que l'épuration précédente n'a pu enlever. Elle est basée sur la propriété qu'ont ces gaz de se

combiner avec certaines substances solides, pour donner des composés spéciaux faciles à retirer. L'acide carbonique est absorbé par la chaux avec laquelle il donne du carbonate de chaux. L'hydrogène sulfuré se combine avec du sesquioxyde de fer pour donner du sulfure de fer :

$$Fe^2O^3H^2O + 3H^2S = Fe^2S^3 + 4H^2O.$$

100 kilogrammes de $Fe^2O^3H^2O$ retiennent 300 kilogrammes de soufre.

Il semblerait, pour cette dernière réaction, qu'après avoir été employée, la matière ne puisse plus servir. Il n'en est rien ; exposé au contact de l'air, le sulfure se transforme, en redonnant du sesquioxyde de fer et en abandonnant le soufre :

$$Fe^2S^3 + 3O = Fe^2O^3 + 3S.$$

L'oxyde peut ainsi se revivifier plus de quarante fois.

Dans la pratique les diverses réactions ont lieu en même temps. Pour cela, on constitue un mélange, dit mélange de *Laming*, comprenant de la chaux, du sulfate de fer ou couperose verte, et de la sciure de bois humide, qui sert d'éponge. Pour 1 mètre cube de sciure, pesant 250 kilogrammes, il faut 3 hectolitres de chaux, d'un poids de 180 kilogrammes, et 3 hectolitres de sulfate de fer, pesant 350 kilogrammes. Dans ce mélange il se produit une première réaction ; au contact de l'air la chaux décompose le sulfate, en donnant du sulfate de chaux et du sesquioxyde de fer :

$$FeSO^4 + Ca(OH)^2 = CaSO^4 + Fe(OH)^2$$
$$2Fe(OH)^2 + O = Fe^2O^3 + 2H^2O.$$

Il reste un peu de chaux non attaquée. Le sulfate de chaux décompose, en outre, le carbonate d'ammoniaque, en donnant du carbonate de chaux, du sulfate d'ammoniaque et de l'acide carbonique :

$$CaSO^4 + 2AzH^4HCO^3 = CaCO^3 + (AzH^4)^2 SO^4 + CO^2 + H^2O.$$

Coupe verticale.

Plan.

Couvercle.

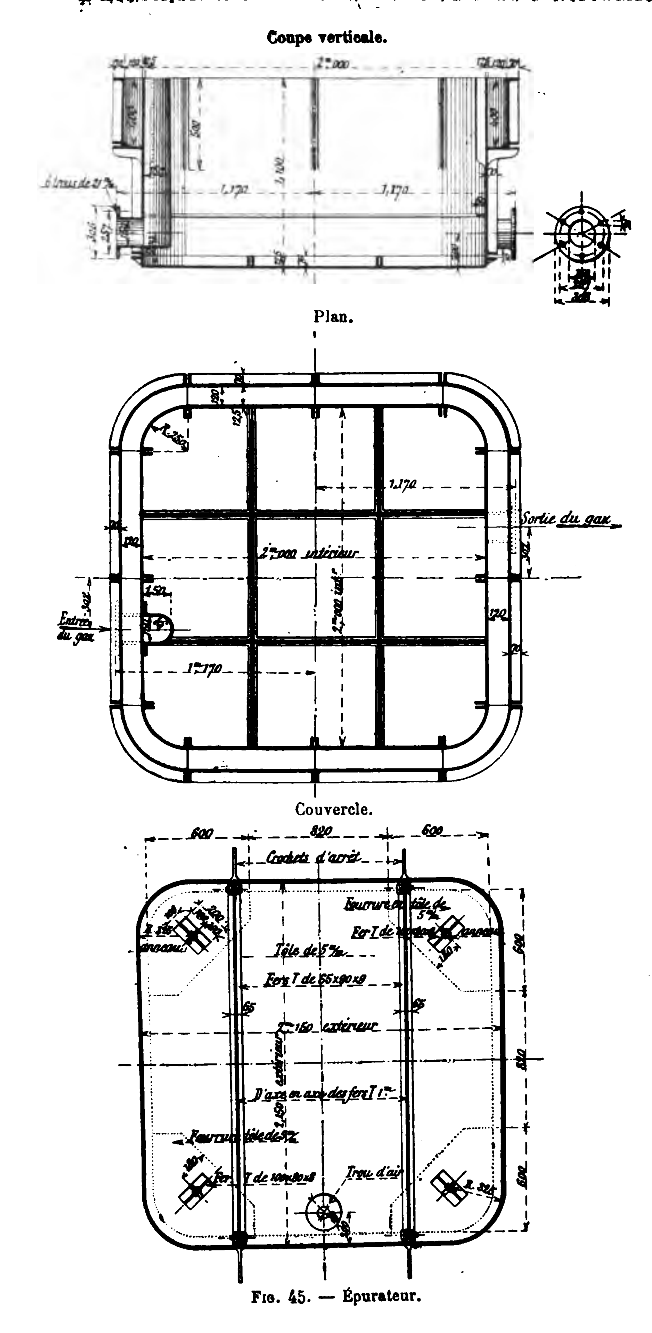


Fig. 45. — Épurateur.

Le mélange de Laming est brassé fortement, au contact de l'air, jusqu'à ce que la matière devienne d'un brun rougeâtre qui caractérise le sesquioxyde de fer. Il est utilisé ensuite par couches de $0^m,50$ à $0^m,70$, de manière à être traversé facilement par le gaz. S'il est employé sans sciure, l'épaisseur n'est que de $0^m,07$ à $0^m,08$.

La matière peut être disposée dans le fond d'une cuve en fonte ou maçonnerie (*fig.* 45), à $0^m,30$ au-dessus du sol, sur des claies ou planches perforées. Les cuves, ou épurateurs, sont fermées par un couvercle en tôle à joint hydraulique ; elles sont rectangulaires ou cylindriques, en une ou plusieurs pièces, suivant les dimensions. Le gaz, arrivant par le haut, à une des extrémités de la cuve, passe successivement sur chaque couche de matière avant de ressortir à l'autre extrémité. On compte généralement 3 mètres carrés à $3^{m2},5$ de surface de claie par 1.000 mètres cubes de gaz préparés en vingt-quatre heures; il est, dès lors, facile de déduire le nombre des claies et la dimension des épurateurs.

Dans ces conditions le mélange doit être renouvelé toutes les vingt-quatre heures. Pour pouvoir faire ce changement, sans interrompre la fabrication du gaz, il faut disposer au moins de deux épurateurs. Le plus souvent, on en met quatre. Le gaz circule méthodiquement dans trois d'entre eux, pendant que le quatrième est en préparation. Les quatre cuves peuvent être placées chacune au sommet d'un carré, dont le centre est occupé par une cloche de distribution qui permet d'isoler l'un quelconque des épurateurs (*fig.* 46). La manœuvre du couvercle de cette cloche se fait au moyen d'une vis. On peut encore disposer les épurateurs sur une ou plusieurs rangées ; la distribution du gaz se fait alors au moyen de vannes à deux ou trois voies.

Le couvercle des cuves d'épuration étant assez lourd à manœuvrer, on peut employer, à cet effet, un pont roulant, ou plus simplement une grue à pivot. La revivification de la matière a lieu sous des hangars spéciaux en couches de 20 centimètres environ, sur des planchers à claires-voies. L'oxydation du sulfure de fer se fait avec un grand dégagement de chaleur et d'odeur désagréable. Lorsque la matière

est épuisée, ce qui arrive après une épuration de 50.000 mètres cubes de gaz par mètre cube de matière, elle renferme

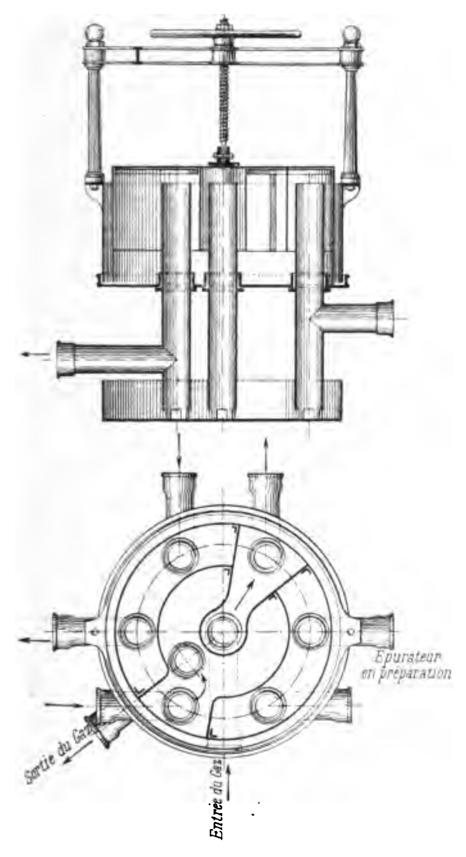


Fig. 46. — Cloche de distribution.

beaucoup de soufre et de goudron. Comme elle contient des sels d'ammoniaque et des cyanures de fer, on la soumet à un lavage important. Le gaz, ainsi purifié, ne doit pas noircir

le papier à acétate de plomb ni troubler l'eau de chaux. On a imaginé d'autres modes d'épuration, mais leur emploi ne s'est pas répandu.

55. Compteurs de fabrication. — Avant d'envoyer le gaz sous la cloche du gazomètre, il est intéressant d'en connaître la quantité fabriquée, en la faisant enregistrer par des compteurs de fabrication. On se trouve renseigné, en outre, sur la valeur des pertes, puisqu'on est fixé, d'autre part, sur la quantité de gaz vendu. Le principe de ces appareils est le même que celui des compteurs d'abonnés dont ils diffèrent par l'addition d'organes enregistreurs, qui permettent de suivre à chaque instant la marche de la fabrication.

Les modèles d'enregistreurs sont, du reste, assez nombreux. Toutes les vingt-quatre heures, on retire une feuille de papier sur laquelle se trouve inscrit, heure par heure, le service de l'usine. En outre, ces compteurs nécessitent : une alimentation constante du niveau de l'eau, des tubes indicateurs de ce niveau, un jeu de valves formant *by-pass*, c'est-à-dire permettant la circulation du gaz sans passer par le compteur et, enfin, l'aménagement de trous d'homme dans le corps même du cylindre ou sur les plateaux pour le nettoyage.

Les compteurs atteignent des dimensions considérables : quelques-uns débitent jusqu'à 50.000 mètres cubes par jour. L'enveloppe se fait en fonte à plusieurs anneaux juxtaposés ou en un seul anneau en divers segments. Ils se construisent sur commande. Le volume d'un compteur est facile à déterminer, en se donnant la production maxima d'une journée, y compris l'augmentation probable de débit, et en s'imposant la condition de ne pas lui faire faire plus de 100 tours à l'heure. Si Q est le volume total du débit en vingt-quatre heures, v le volume du gaz du compteur, qui n'est autre que la couronne cylindrique ayant pour hauteur la longueur du volant et pour base la surface comprise entre le contour extérieur du volant et la circonférence correspondant à la ligne d'eau, on aura :

$$Q = v \times 100 \times 24\,;$$

d'où :

$$v = \frac{Q}{100 \times 24}.$$

On prend le plus souvent la longueur du volant égale à son diamètre ; dans ces conditions on a le minimum de matière et de frottement dans l'eau.

La pression, absorbée par un compteur, ne doit pas excéder 10 à 12 millimètres pour des faibles débits (500 à 2.000 mètres cubes), et 15 à 18 millimètres pour des débits de 5.000 à 30.000 mètres cubes.

56. Gazomètres. — Le gaz préparé d'une manière continue doit être emmagasiné, pour les besoins intermittents de la consommation, dans un réservoir spécial ou gazomètre constitué par une cloche renversée sur une cuve à eau. La cuve, établie le plus souvent dans le sol, se fait en maçonnerie, quelquefois en fer ou en fonte. Le radier est formé par un béton permettant de répartir la charge uniformément sur le sol; on lui donne de 50 à 80 centimètres d'épaisseur, correspondant à une pression de 25 à 30 kilogrammes par centimètre carré. Les parois, en maçonnerie ou métal, doivent pouvoir résister à la pression considérable de l'eau; il est vrai qu'elle est compensée en partie par la poussée des terres. L'épaisseur va en diminuant de la base au sommet; elle est, à la base, égale au tiers ou à la moitié de la hauteur pour s'abaisser à un dixième au sommet. Des formules spéciales permettent de calculer ces dimensions. Toute la cuve est revêtue intérieurement d'une couche en ciment de première qualité de 2 à 3 centimètres, qui doit être parfaitement étanche pour éviter toute communication avec les nappes voisines.

La cloche est formée par un cylindre en tôle surmonté d'une calotte sphérique. Sa capacité utile doit atteindre 60 à 75 0/0 de la consommation maxima en vingt-quatre heures, et ne jamais descendre au-dessous de 50 0/0. On admet, comme rapport de la hauteur au diamètre, 1/3 à 1/5. L'épaisseur des tôles dépend des dimensions de la cloche; elle

varie, en outre, avec leur position. Le tableau ci-dessous indique les chiffres les plus employés.

CAPACITÉ des GAZOMÈTRES	PARTIE CYLINDRIQUE		CALOTTE	
	Haut et bas	Rangées intermédiaires	Anneaux externes	Rangées du milieu
mètres cubes	mm mm	mm mm	mm mm	
100 à 500	2,5 à 3,0	2,0 à 2,5	2,5 à 3,5	2,0 à 2,5
500 à 1.000	3,0 à 3,5	2,5 à 2,75	3,0 à 3,5	2,5 à 2,75
1.000 à 2.000	4,0	3,0	4,0	3,0
2.000 à 5.000	5,5	4,0	5,5	4,0

Les feuilles, de 1 mètre de haut, assemblées au moyen de rivets posés à froid, sont recouvertes ensuite extérieurement d'une peinture au minium et au goudron. La calotte est maintenue dans la cuve par l'intermédiaire d'une charpente qui a servi au montage (*fig.* 47) ; on la raidit au moyen d'armatures fixes en fer cornière ou à double **T** avec treillis transversal, suivant l'importance du diamètre. Lorsque la cloche sort de la cuve, il faut la guider au moyen de supports reposant sur des dés en fonte ou en maçonnerie disposés tout autour sur la margelle de la cuve et reliés en haut par des entretoises (*fig.* 48 et 49). Les dimensions de ces colonnes se calculent de façon à pouvoir résister à l'effort du vent, en admettant que la pression exercée sur le cylindre soit égale à 0,57 de la pression totale agissant sur sa surface plane verticale ; la valeur de cette pression par mètre carré est évaluée à 200 kilogrammes.

Les guides proprement dits sont installés aux flancs de la cuve et se prolongent le long des colonnes en forme de double **T**, de $0^{m},20$ à $0^{m},25$ de large, sur les ailes duquel viennent rouler des galets disposés deux par deux tangentiellement à la circonférence de la cloche, de manière à ne pas la déformer. On emploie également des galets normaux aux guidages.

La cuve doit avoir la hauteur de la cloche ; mais, lorsque

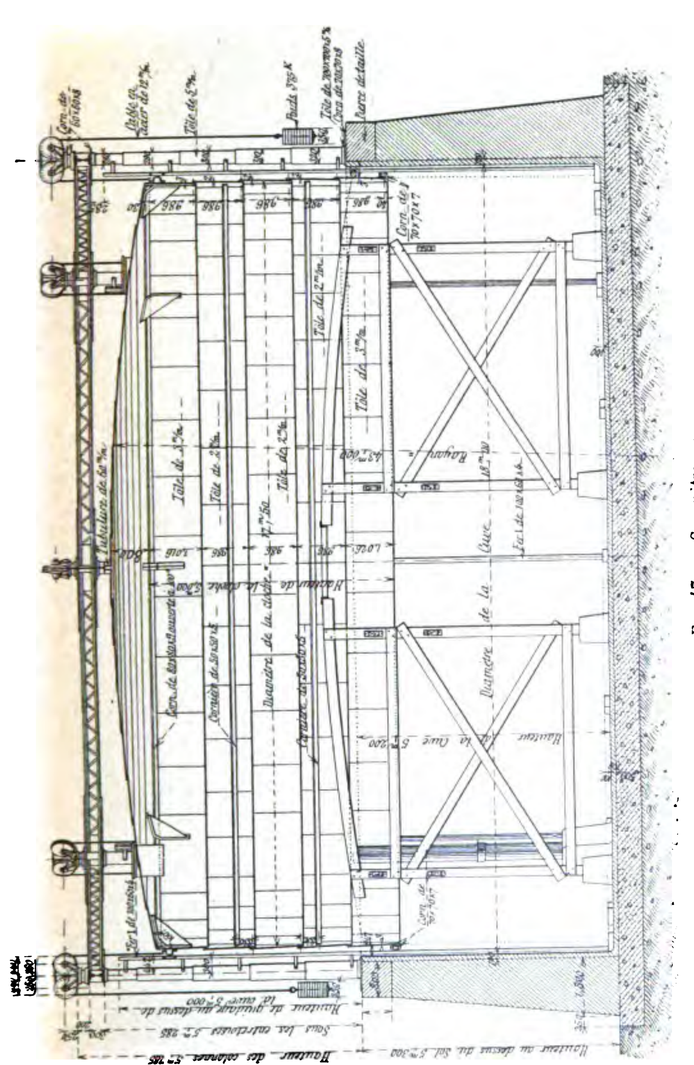


FIG. 47. — Gazomètre.

Entretoisement des colonnes de guidage.

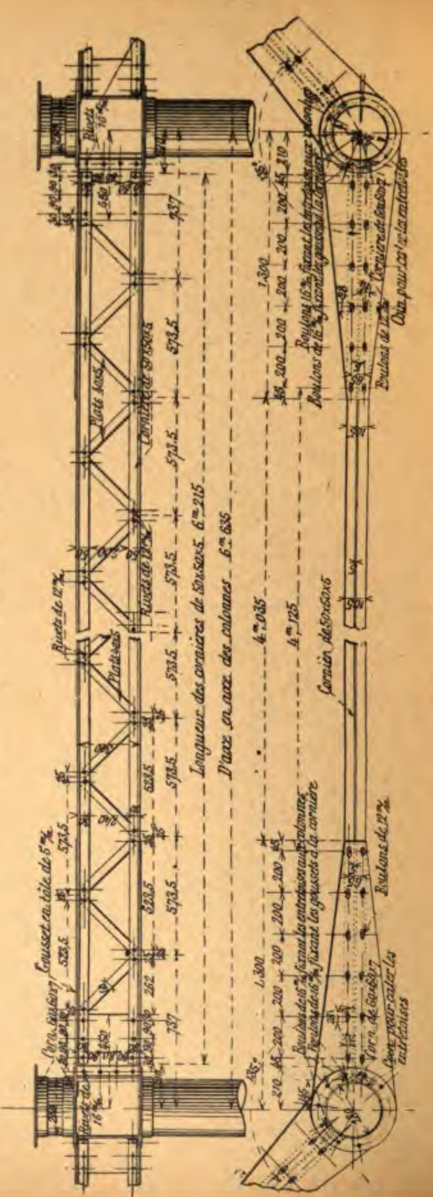
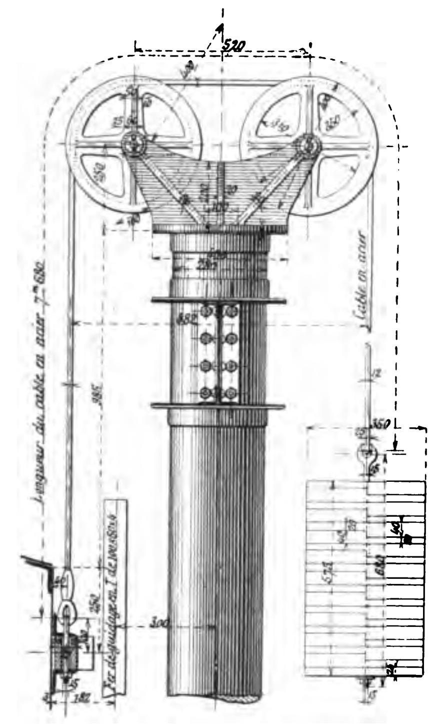


Fig. 48. — Détails d'un gazomètre.

Colonne et contrepoids.



Poulie de guidage.

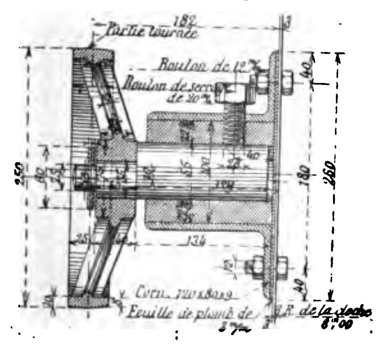


Fig. 49. — Détails d'un gazomètre.

le gazomètre atteint une certaine capacité, on comprend que la construction de la cuve devienne très difficile, surtout dans les terrains rapportés ou déjà fouillés. Pour diminuer sa hauteur, on a imaginé des cloches à plusieurs levées ou télescopiques. Elles sont alors formées d'un certain nombre d'anneaux concentriques s'emboîtant les uns dans les autres. Le diamètre varie d'un anneau à l'autre de $0^m,25$ à $0^m,30$. Chaque anneau, à sa partie inférieure, est muni d'un rebord extérieur formant gouttière de $0^m,25$ de haut remplie d'eau; le bord supérieur est retourné, au contraire, intérieurement de la même quantité. De cette façon, en se développant, les rebords de deux anneaux voisins pénètrent l'un dans l'autre et forment joint étanche. Quand la cloche s'abaisse, les anneaux descendent successivement dans la cuve, il n'y a pas de fuites possibles. Il faut empêcher l'eau de ces joints de geler au moyen de jets de vapeur.

Le poids de la cloche fait équilibre à la pression du gaz s'exerçant sur toute sa section; on a $Sh = P$, P étant son poids, S sa section horizontale, et h la pression du gaz; la pression h sera d'autant plus faible que S sera grand; on peut, du reste, la modifier au moyen de contrepoids agissant verticalement le long des guides par l'intermédiaire de câbles et de poulies de renvoi.

Les conduits d'arrivée et de départ du gaz pénètrent, le plus souvent côte à côte, au fond de la cuve et débouchent au-dessus de l'eau. Ils sont munis de siphons purgeurs avant leur entrée dans la cuve (*fig.* 50). D'autres fois, on emploie des tuyaux articulés, ou genouillères, réunis entre eux par des joints spéciaux ou stuffing-box. Ils débouchent alors sous la calotte même et suivent la cloche dans ses mouvements. Sur la paroi de la cloche se trouve une échelle graduée indiquant à chaque instant le volume du gaz emmagasiné. La capacité d'un gazomètre est très variable; quelques-uns peuvent contenir 40 à 50.000 mètres cubes.

La mise au gaz des gazomètres doit être faite avec certaines précautions. Lorsqu'ils sont neufs ou qu'à la suite de réparations ils ont été vidés, ils renferment toujours une certaine quantité d'air qui, mélangée au gaz, donnerait un composé explosif. Pour éviter cet inconvénient, en un point

de la cloche, éloigné du tuyau d'arrivée du gaz, on ménage une petite ouverture de quelques centimètres munie d'une tubulure. Après avoir fait exactement les joints des trous

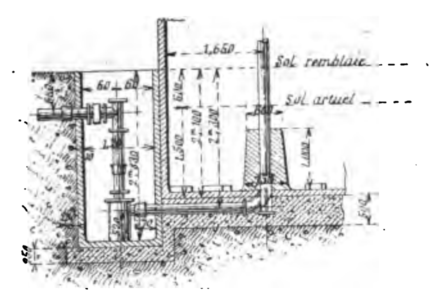


Fig. 50. — Sortie du gaz.

d'homme, on introduit dans cette tubulure un tuyau en plomb portant un petit collet à brides. Ce plomb pénètre dans la cloche de la quantité nécessaire pour que son extrémité soit à 2 centimètres du plan d'eau (*fig.* 51).

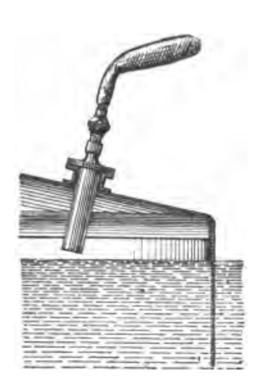


Fig. 51. — Mise au gaz d'un gazomètre.

On amène alors le gaz dans la cloche; en vertu de sa faible densité, il occupe le sommet de la cloche, chassant à la partie inférieure l'air qui n'a d'autre issue que la tubulure en plomb. Au moyen d'une vessie munie d'un robinet sur lequel est vissé un raccord à brides, on recueille le mélange de gaz qui s'échappe. Lorsqu'elle est remplie, on ferme le robinet, et à sa place on visse un brûleur ordinaire. On essaie d'allûmer le gaz; s'il ne s'enflamme pas, on recommence l'opération jusqu'à ce qu'on ait une flamme éclairante. Il suffit alors d'enlever le tuyau et de fermer l'orifice par une plaque pleine.

Un gazomètre ne doit jamais être rempli complètement,

car la moindre élévation de température extérieure peut amener la dilatation du gaz et, par suite, son échappement autour de la cloche.

§ 2. — Sous-produits

57. Coke. — Le produit qui reste dans la cornue, après la distillation, constitue le coke. Jeté brusquement sur le carreau de l'usine, il est éteint instantanément avec de l'eau. Cette aspersion favorise le départ d'une partie du soufre qu'il renferme à l'état de sulfure de fer.

C'est un combustible très utile, que l'on préparait bien avant le gaz, spécialement pour les besoins de la métallurgie. D'une couleur gris fer, sa texture est spongieuse et boursoufflée; très poreux, il peut absorber jusqu'à 50 0/0 de son poids d'eau, ce qui oblige à le vendre au volume et non au poids; Un mètre cube de coke pèse 400 kilogrammes en moyenne. Il brûle avec une petite flamme bleue, presque sans fumée ni odeur. Par suite de sa forte teneur en carbone, il s'allume difficilement, c'est-à-dire qu'il faut que l'air et le combustible aient une température suffisante pour s'enflammer.

La puissance calorifique du coke s'obtient au moyen de la formule :

$$P = (1 - a - b)\,8080,$$

dans laquelle a est la quantité de cendres, et b la quantité d'eau exprimée en centièmes. Un coke ordinaire renferme de 81 à 89 0/0 de carbone, 6 à 12 0/0 de cendres, 2 à 3 0/0 d'eau; la puissance calorifique P varie entre 7.600 et 6.500 calories. La qualité du coke dépend de la nature de la houille qui lui a donné naissance, d'où résulte sa teneur plus ou moins grande en cendres.

Il n'est pas livré directement au commerce. Auparavant, on le casse en menus morceaux qu'on classe d'après leur grosseur. Cette opération se fait au moyen de casse-

cokes, mus mécaniquement ou à la main. Le poussier de coke n'est pas perdu : il sert à la fabrication des briques en terre cuite, à la cuisson des ciments, à la confection des briquettes ou agglomérés de houille. On peut l'utiliser directement dans certains fours spéciaux (fours Michel Perret).

Outre le chauffage domestique dans les foyers ouverts, les poêles mobiles où il a à lutter contre l'anthracite, le coke est employé dans l'industrie au chauffage des appareils sans fumée et à l'alimentation des gazogènes.

58. Goudron. — *Applications directes.* — Dans les barillets et autres appareils de condensation, on trouve des huiles lourdes qui constituent le goudron. On les recueille dans des citernes où elles se superposent par ordre de densité. La partie liquide du haut est presque totalement composée d'eau ammoniacale qui accompagne le goudron ; ce dernier, noir et visqueux, se rassemble au fond. C'est certainement le produit le plus curieux de la distillation de la houille.

D'abord sans emploi, cette substance est devenue la source d'une foule de produits chimiques et, en particulier, de couleurs. Sa densité est voisine de 1,1 ; il est plus ou moins visqueux et dégage une odeur forte et désagréable. Très riche en hydrocarbures, il est éminemment combustible, et 10 kilogrammes de goudron équivalent, au point de vue calorifique, à 12 kilogrammes de houille. On l'a appliqué, comme il a été dit, au chauffage des cornues à gaz. Il peut servir également à l'enrichissement du gaz ordinaire ou à la fabrication du gaz riche, comme nous le verrons plus loin.

Le goudron peut être employé directement à la fabrication de matériaux de couverture : *carton goudronné*, *carton bitumé*, *carton-pierre*, etc., qui ne sont autres que du papier séché à l'air que l'on trempe dans du goudron déshydraté. Il a été appliqué directement à la peinture du bois, des métaux, de la maçonnerie qu'il préserve de l'humidité. Sa couleur noire lui permet d'absorber très bien la chaleur ; aussi s'en sert-on pour couvrir les parois opaques des serres ; il a, en outre, l'avantage de chasser les insectes. C'est un antiseptique par excellence, d'où son application pour arrêter la pourriture des arbres et empêcher l'attaque des parasites.

Dérivés. — La majeure partie du goudron est traitée dans des distilleries spéciales, en vue d'obtenir des produits chimiques très divers. On recueille une série de composés hydrocarburés qui ont beaucoup d'analogie avec les dérivés de l'huile minérale. Le premier traitement consiste à le déshydrater complètement, en le chauffant à feu nu dans des chaudières dont la température varie progressivement de 80 à 90°. Les produits très volatils qui se dégagent sont recueillis. Au bout de vingt-quatre heures, la séparation est suffisante, et par décantation on retire la partie aqueuse du goudron.

Le goudron déshydraté est alors soumis à la distillation; on obtient quatre fractionnements :

1° Des huiles *légères*, d'un poids spécifique allant jusqu'à 0,940 et ne dépassant pas, comme point d'ébullition 170°. Leur mélange constitue un liquide très fluide. Un second fractionnement permet d'en retirer le benzol, origine de la benzine, du toluène. Les applications de ces huiles légères sont les mêmes que celles des essences de l'huile minérale; elles servent, en outre, de point de départ à la fabrication des couleurs d'aniline;

2° Une huile *moyenne*, dont le poids spécifique va jusqu'à 0,980, et le point d'ébullition 230°. Un traitement à la soude donne de l'acide phénique brut et de la naphtaline, hydrocarbure blanc solide, d'odeur très forte, que l'on rencontre souvent dans les conduits à gaz ;

3° Des huiles *lourdes* (densité, 1,04; et point d'ébullition inférieur à 270°), donnant, après fractionnement, de la créosote, très recherchée pour la conservation des bois, des huiles de graissage. Ces huiles lourdes brutes peuvent se joindre à celles du pétrole et servir comme elles à l'éclairage et même au chauffage dans des appareils spéciaux ;

4° Une huile d'*anthracène*, dont le poids spécifique atteint 1,08 et qui comprend tout ce qui distille au-dessus de 270°. Cette huile, de couleur verdâtre, filtrée ou pressée à froid, laisse déposer l'anthracène, origine des couleurs de la garance artificielle.

La distillation du goudron, qui doit se faire avec précaution, a lieu dans des chaudières contenant 200 à 400 tonnes de liquide. Elles sont légèrement inclinées du côté du trou

de vidange. Cette disposition est rendue nécessaire pour pouvoir enlever facilement le résidu de la distillation, ou *brai*, qui se solidifie rapidement. Ce composé, d'un noir visqueux, sert plus particulièrement à la fabrication des combustibles agglomérés.

Le rendement en volume de la distillation du goudron est :

En huile légère de	....	3 à 5 0/0
— moyenne de	....	8 à 10
— lourde de	....	8 à 10
— d'anthracène de	... .,.	19 à 20

Le reste se compose de brai.

59. Eau ammoniacale. — L'eau ammoniacale est traitée dans les usines de produits chimiques, en vue d'obtenir de l'ammoniaque et des sels ammoniacaux, en particulier du sulfate d'ammoniaque, très recherchés en agriculture, à cause de l'azote qu'ils renferment. Cette eau est traitée dans des chaudières où elle est mélangée à de la chaux qui, sous l'action de la chaleur, la décompose en donnant l'ammoniaque, qui, après lavage et condensation de la vapeur d'eau, est envoyée dans des récipients remplis d'acide chlorhydrique ou sulfurique suivant qu'on veut obtenir du chlorhydrate d'ammoniaque ou du sulfate d'ammoniacque. On retire environ 50 kilogrammes de sulfate par mètre cube d'eau à 2 ou 3° B.

Souvent l'on se contente de concentrer les eaux mères jusqu'à 15° B., dans le but de s'en servir pour la fabrication de la soude. Tous ces dérivés, ammoniaque ou alcali volatil, sels ammoniacaux, sont d'un emploi courant. Le sulfate d'ammoniaque, utilisé pour la fabrication des aluns, sert plus spécialement d'engrais. Il convient principalement aux céréales et aux plantes oléagineuses. Pour ces dernières il faut 100 à 200 kilogrammes de sulfate par hectare.

L'eau ammoniacale clôture la série des produits de la distillation de la houille, qui présentent entre eux les plus grands contrastes. On s'est ingénié à leur trouver des débouchés, et, grâce à ces efforts continus, l'industrie du gaz est une des plus prospères.

CHAPITRE V

DISTRIBUTION DU GAZ

60. Écoulement du gaz. — Le gaz est amené aux différents points où il doit être consommé au moyen de conduites, dont le diamètre va sans cesse en diminuant à partir de l'origine. On les fait communiquer entre elles, toutes les fois qu'il est possible, de telle sorte qu'une canalisation dans son ensemble a l'apparence d'un grillage à mailles irrégulières composé de fils de diamètre inégal.

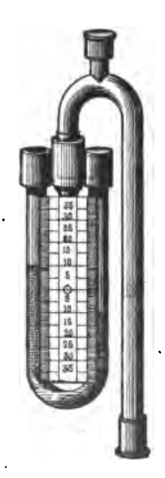


Fig. 52. — Manomètre.

La circulation du gaz dans ces conduites est soumise aux lois de l'écoulement des fluides qui comportent trois facteurs : la *pression*, le *débit*, la *résistance*. Ils sont reliés entre eux par certaines relations.

La *pression* n'est autre que la force, rapportée à l'unité de surface, qui produit l'écoulement. Dans le cas du gaz cette force est constituée par le poids de la cloche du gazomètre qui comprime le gaz et le force à s'échapper. La pression s'évalue en millimètres d'eau et se mesure au moyen de *manomètres*. Ces derniers sont formés simplement par un tube en **U** rempli d'eau (*fig.* 52) ; dans une des branches, le gaz amené par un tuyau exerce sa pression ; l'autre s'ouvre directement dans l'atmosphère. La différence de niveau du liquide dans les tubes indique la pression exprimée en millimètres. Une échelle graduée permet de faire cette lecture rapidement. Pour augmenter le déplacement du liquide, lorsqu'il s'agit de pression très faible, une des branches, au lieu d'être

verticale, est inclinée. Enfin on peut recourir à un flotteur disposé sur le niveau de l'eau et entraînant dans son mouvement l'aiguille d'un cadran gradué en conséquence. Cet appareil est moins sensible que les précédents.

La quantité de gaz qui passe à travers la section d'une conduite dans l'unité de temps mesure le *débit* Q. Si ω est la section, v la vitesse, on a :

$$Q = \omega v.$$

D'autre part, v est fonction de la pression h du gaz, car on a :

$$v = \sqrt{2gh}.$$

Pour que la valeur de v et, par suite, celle de h ne soient pas exagérées, il faut donner à la section ω une dimension suffisante. Nous verrons plus loin les chiffres adoptés.

L'écoulement du gaz à travers la conduite ne se fait pas sans difficulté : selon la nature des parois, les remous aux coudes brusques, les pentes à franchir, la veine fluide circule plus ou moins facilement. L'ensemble de tous ces obstacles constitue la *résistance;* elle est proportionnelle à la longueur L du tuyau, à son périmètre, inversement proportionnelle à sa section ω ; elle dépend, en outre, de sa nature et de la densité du gaz. C'est en vertu de la résistance que la pression pendant l'écoulement n'est pas la même à l'arrivée qu'au départ; cette diminution de pression se nomme la *perte de charge.*

61. Régulateurs d'émission. — A la sortie de l'usine, on ne laisse pas prendre à la pression une valeur quelconque ; elle serait trop irrégulière. On la règle au moyen d'un appareil spécial, ou *régulateur* d'émission, que l'on installe au commencement des conduits de distribution. Il consiste essentiellement en un obturateur qui, en réduisant plus ou moins la section de sortie du gaz, rend la pression indépendante du nombre des appareils en service. Le mouvement de cet obturateur est confié à un organe qui suit exactement les oscillations de la pression.

Le régulateur ordinaire se compose d'une cloche cylindrique à flotteur en équilibre dans une cuve remplie d'eau et supportant, à l'aide d'une tige centrale, l'obturateur allongé en forme de cône qui vient s'engager dans un tuyau amenant le gaz du gazomètre. Lorsqu'il y a équilibre, la cloche est sou-

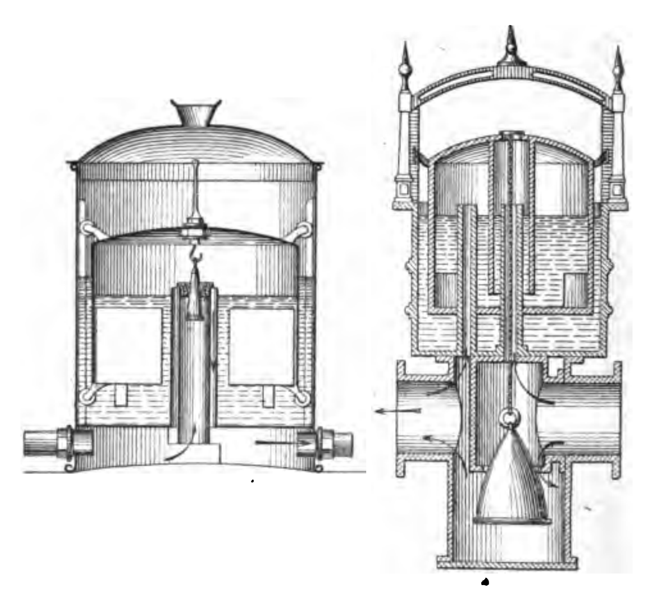


FIG. 53. — Régulateurs de pression.

mise, de haut en bas, à l'action de son poids et, de bas en haut, à la pression h du gaz ; si S est sa section, on aura :

$$P = hS ;$$

d'où :

$$h = \frac{P}{S} ;$$

h est constant, tant que P et S sont constants. On peut faire varier P, en ajoutant des poids fixes ou une quantité d'eau variable en rapport avec la consommation du gaz ; cette eau

est versée dans un réservoir placé sur la cloche qu'on peut vider ensuite aisément.

La qualité importante d'un régulateur est sa sensibilité; elle est d'autant plus considérable que la course de l'obturateur est longue et que la cloche suit les moindres variations de la pression. Le premier résultat est obtenu en donnant à l'obturateur une forme parabolique, le second en augmentant le diamètre de la cloche.

L'appareil précédent présente un inconvénient : la section S recevant l'action de la pression n'est pas constante, il faut tenir compte de l'obturateur qui est soumis à l'action de celle de l'usine variant à chaque instant ; il en résulte pour la cloche un mouvement oscillatoire qui se transmet à la veine fluide. On y remédie en compensant la pression sur le cône par une autre égale sur la cloche au moyen d'un tube en communication avec le gaz à l'arrivée (*fig.* 53). Le reste de la cloche est soumis à la pression du gaz de la conduite générale; on peut, au lieu de cette disposition, employer un double cône, de manière qu'il y ait compensation, l'un se trouve sur la conduite de sortie, l'autre sur celle d'arrivée. Ce système est moins répandu que le précédent, surtout pour les faibles débits.

Les régulateurs d'émission se groupent dans des salles spéciales; leur installation se complète d'une série d'appareils enregistreurs. Le principe en est fort simple : il suffit de déplacer le long d'un cylindre vertical, tournant avec une vitesse uniforme de un tour en vingt-quatre heures, un crayon qui suivra la cloche du régulateur dans ses mouvements. La courbe ainsi tracée indiquera les fluctuations de la pression.

L'emploi des régulateurs n'est pas limité aux points origines. Il peut être utile en d'autres endroits, à l'entrée de certains locaux par exemple, de changer la pression, tout en la maintenant constante. Le premier système de régulateur, c'est-à-dire non compensé, est suffisant.

Un régulateur ne se trouve pas forcément installé à l'endroit même où la pression doit être constante, la régulation peut se faire à distance ; il suffit en effet d'amener le gaz de ce point sous la cloche au moyen d'une conduite spéciale ;

ou bien encore, si la distance est trop grande, d'y mettre un flotteur dont les mouvements se transmettront électriquement à ceux du flotteur du régulateur. Ces deux moyens sont du reste usités.

62. Calcul des conduites. — *Diamètre.* — *a)* La formule fondamentale qui permet de déterminer le diamètre D d'une conduite de longueur L devant débiter, dans l'unité de temps, avec une perte de charge E, un volume Q de fluide de densité *d*, est la suivante :

$$D^5 = \frac{0,33dKLQ^2}{E};$$

d est la densité du gaz par rapport à l'eau, c'est-à-dire qu'on a en moyenne :

$$0,400 \times 0,0013 = 0,00052,$$

K, un coefficient variable avec la nature des parois, mais qu'on prend égal à 0,006.

Toutes ces quantités sont exprimées en unités décimales, et Q est le débit par seconde.

Faisons le calcul pour une valeur Q = 100 litres à la seconde, soit 360 mètres cubes à l'heure, $E = 0^m,02$, et prenons pour L des valeurs successives :

$$L = 10 \text{ mètres}, \quad L = 100 \text{ mètres}, \quad L = 1.000 \text{ mètres}.$$

Dans ces conditions on trouve pour D, en remplaçant les lettres par leur valeur :

$$D = 0,087, \quad D = 0,139, \quad D = 0,219.$$

La formule précédente peut se rapprocher de la suivante, très usitée, mais donnant un diamètre un peu plus fort:

$$D^5 = \frac{0,67\,Q^2L}{E},$$

dans laquelle Q est exprimée en mètres cubes à l'heure, E en millimètres d'eau, et L en mètres; D est alors obtenu en centimètres.

b) Lorsqu'il s'agit de conduites se subdivisant en plusieurs autres, le problème n'est pas plus compliqué, à la condition de partager la perte de charge d'une manière rationnelle sur tout le parcours. Soit, par exemple (*fig.* 54), une conduite de longueur L se subdivisant en deux autres, de longueur L_1 et L_2, et débitant chacune des volumes Q_1, Q_2 de gaz. On connaît la perte de charge E_1, de A en C, qui est, par hypothèse, la ligne la plus longue ; pour l'avoir en B, nous supposerons que les pertes sont proportionnelles aux longueurs, on aura :

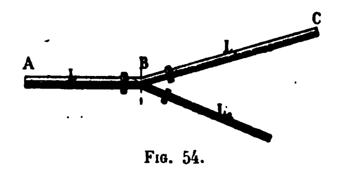


Fig. 54.

$$\frac{E_1}{L + L_1} = \frac{x}{L};$$

d'où :

$$x = \frac{E_1}{1 + \frac{L_1}{L}}.$$

Dès lors le calcul est très facile, on a pour valeur des diamètres des conduites :

$$D = \frac{0{,}67L(Q_1 + Q_2)^2}{x}, \quad D_1 = \frac{0{,}67L_1Q_1^2}{E_1 - x}, \quad D_2 = \frac{0{,}67L_2Q_2^2}{E_2 - x}$$

c) M. D. Monnier, pour calculer le diamètre d'une conduite, a tenu compte de son débit sur toute sa longueur. La formule est alors :

$$D^5 = \frac{0{,}84Q^2L}{E} \times M.$$

Q, volume en mètres cubes débité dans une heure par la conduite principale ; L, longueur en mètres, D en centimètres et E en millimètres d'eau. La valeur du coefficient M est égale à :

$$M = 1 - \frac{q}{Q} + \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{6 \times n}\right)\frac{q^2}{Q^2};$$

q est le débit en mètres cubes par heure le long de la conduite ; *n*, le nombre de branchements ; en pratique, on le fait

égal à 10. Pour $q = o$, c'est-à-dire la conduite ne comportant aucun branchement sur tout son parcours, $M = 1$, la valeur de D^5 est alors légèrement supérieure à celle des formules précédentes. A mesure que q augmente, M, et par suite D, diminuent d'une façon très sensible et tendent vers un minimum qui a lieu pour $q = Q$ et pour n infini : M est alors égal à $\frac{1}{3}$.

d) Les diverses formules précédentes nécessitent le calcul complet de la valeur D^5. On peut se servir des tables de M. Arson, établies d'après une formule binôme, donnant pour un diamètre déterminé la perte de charge E par 1.000 mètres de longueur correspondant à une vitesse v. L'équation générale donne :

$$E = \frac{4Ld}{D}(av + bv^2);$$

d est la densité du gaz par rapport à l'eau ; a et b, deux coefficients dépendant de la nature et du diamètre du tuyau.

Les tables de M. Arson, assez longues à consulter, ont été résumées dans le tableau suivant pour des conduites en fonte et à emboîtement.

DIAMÈTRES des CONDUITES	PERTES DE CHARGE OU PRESSION PAR 1.000 MÈTRES DE CONDUITE EXPRIMÉE EN MILLIMÈTRES									
	3	5	8	10	15	20	25	30	35	40
	VOLUMES DE GAZ ÉCOULÉS PAR HEURE, EN MÈTRES CUBES									
0.054	»	»	»	»	3 04	»	»	5 6	»	7 3
0.081	3 4	»	7 5	»	12 »	15	17	»	21 3	25 »
0.108	8 »	15	18 »	21	28 »	34	39	44 »	47 »	54 »
0.135	16 »	23	34 »	40	54 »	64	73	83 »	90 »	100 »
0.162	29 »	43	61 »	72	97 »	109	124	139 »	153 »	167 »
0.189	50 »	70	99 »	112	146 »	168	197	220 »	239 »	260 »
0.216	77 »	109	149 »	170	219 »	259	296	326 »	356 »	386 »
0.250	126 »	178	334 »	270	334 »	397	453	503 »	542 »	586 »
0.300	234 »	307	408 »	465	580 »	680	762	845 »	915 »	982 »
0.400	596 »	790	1.000 »	1.140	1.390 »	1.603	1.800	1.970 »	2.120 »	2.300 »

Nota. — Pour les autres distances, les pertes de charge étant proportionnelles aux longueurs, on les obtient facilement par un calcul proportionnel.

Vitesse. — Connaissant le diamètre d'une conduite, il convient de s'assurer que la vitesse v du gaz n'est pas exagérée. On peut même procéder inversement pour des valeurs données de Q, calculer le diamètre en partant de la vitesse ; on a :

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} v.$$

Dans l'exemple donné précédemment pour le calcul du diamètre d'une conduite dans lequel on avait :

$E = 0{,}02, \quad Q = 360$ mètres cubes à l'heure, $\quad D = 0{,}219,$

on trouve :

$$v = 2^m{,}70.$$

Généralement, pour $Q > 1.000$ mètres cubes à l'heure, v varie de 2 à 3 mètres à la seconde ; et pour $Q < 1.000$ mètres à l'heure, v est pris égal à $0{,}3\,(1 + 0{,}01Q)$.

Dans ces conditions, c'est-à-dire avec une vitesse de $2^m{,}50$ environ et une section de 1 centimètre carré par 1.000 litres de gaz, on obtient des pertes de charge insignifiantes.

La valeur de la pression est assez variable à Paris : le soir, elle oscille entre 140 et 150 millimètres au régulateur d'émission pour finir aux brûleurs à 65 ou 70 millimètres ; le jour, elle n'est plus que de 50 à 55. Dans l'évaluation des pertes de charges il faut tenir compte de l'altitude de l'usine. Le gaz étant plus léger que l'air, pour tous les points plus élevés que l'usine, toute surélévation de 1 mètre de niveau équivaut à une augmentation de $0^{mm}{,}8$ de pression ; pour les points à un niveau inférieur, c'est l'inverse qui a lieu.

63. Conduites principales. — *Tuyaux.* — Les conduites de gaz se font en fonte ou en tôle. Les tuyaux en fonte mesurent généralement $2^m{,}50$ à 3 mètres de longueur ; les diamètres les plus employés vont de $0^m{,}04$ à $0^m{,}60$; le poids varie alors de 12 à 15 kilogrammes par mètre courant. La fonte doit être homogène, ni trop blanche, ni trop dure pour éviter les cassures au moindre choc. Avant leur emploi, les tuyaux

doivent être essayés sous l'eau à la pompe à air, pour voir s'ils ne fuient pas.

L'assemblage peut se faire par emboîtement. La figure 55 indique la disposition. Chaque tuyau porte à une extrémité une partie plus large ou emboîtement dans lequel on introduit l'extrémité droite du tuyau adjacent. L'espace resté libre entre les deux est rempli de corde suiffée qu'on refoule dans le fond. A l'entrée du joint, on fait ensuite un bourrelet



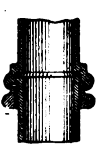
Fig. 55. — Tuyau en fonte.

de glaise, à la partie supérieure duquel on ménage un trou par où on fait couler du plomb fondu. Comme le plomb, en se refroidissant, se contracte, il faut le mater jusqu'à refus, de manière à rendre le joint parfaitement étanche.

L'assemblage par emboîtement a, comme inconvénient, d'être trop rigide et, par suite, de casser facilement il en résulte que les joints sont peu étanches, particulièrement dans les terrains instables. Il est, en outre, très difficile de démonter la canalisation sans casser les tuyaux.

Les joints à brides sont préférables à ce point de vue ; parmi eux il convient de citer les joints Lavril, Petit et Somzée. Dans le système *Lavril* (*fig.* 56) la partie mâle du tuyau est

Joint Lavril.



Joint Petit.

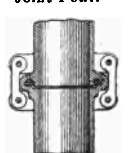


Fig. 56. — Joints à brides.

pourvue d'une gorge destinée à recevoir une bague en caoutchouc. La partie femelle porte des oreilles fixes, et le bout mâle, une bride mobile qui peut glisser le long du tuyau.

C'est cette bride mobile qui vient serrer, au moyen de colliers avec pattes, la rondelle en caoutchouc contre le fond de l'emboîtement, rendant ainsi le joint étanche. Cette disposition donne une certaine élasticité à la canalisation, ce qui facilite le passage en courbe. Le caoutchouc paraît d'ailleurs bien se comporter, malgré son contact avec la fonte et les vapeurs d'hydrocarbures. Dans le joint *Petit* la bride de la partie mâle est fixe ; il y a des colliers également pour serrer le joint (*fig.* 56).

Dans le joint *Somzée* le bout mâle est conique et porte à son extrémité deux bourrelets entre lesquels on place un anneau en caoutchouc. L'extrémité antérieure de l'emboîtement est taillée en biseau, et derrière cette partie se trouve un cercle plat. Lorsque l'on monte les tuyaux, le caoutchouc se roule autour du bout mâle et finit par remplir complètement le vide de l'emboîtement.

On emploie également avec succès les tuyaux du système *Chameroy :* ils sont constitués par de la tôle plombée (*fig.* 57),

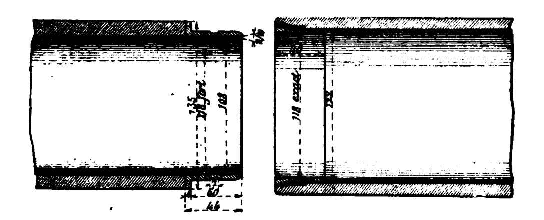


Fig. 57. — Tuyau Chameroy.

sur les deux faces, rivée et soudée suivant une génératrice. La surface extérieure est recouverte d'un revêtement en bitume très adhérent au métal ; intérieurement la paroi est enduite d'une couche de goudron. L'épaisseur de ces tuyaux varie de 1 à 5 millimètres suivant l'importance du diamètre qui va de $0^{m},035$ à 1 mètre ; chaque tuyau mesure 4 mètres de long. Enfin les extrémités sont garnies de bagues parfaitement cylindriques réglées pour s'emboîter à joint précis ; elles sont formées par un alliage de plomb et d'antimoine. L'as-

semblage se fait par emboîtement. A cet effet, on fait pénétrer l'un des tuyaux dans l'ouverture élargie de l'autre. On enfonce la partie mâle entourée d'une ficelle enduite de cire et de suif dans la partie femelle de celui déjà posé, et on assujettit l'assemblage en frappant sur un tampon en bois disposé dans l'ouverture libre du tuyau. Il faut avoir soin, en outre, de tourner la rivure vers le haut et de remplacer le bitume enlevé. Les tuyaux Chameroy sont un peu plus économiques que ceux en fonte, ils donnent une perte de charge bien moindre ; ils sont plus faciles à poser et constituent à la fois une canalisation étanche et élastique. Par contre, on leur reproche de s'oxyder rapidement ; mais si la couche de bitume est suffisante et si la pente est bien établie — 7 à 10 millimètres par mètre, — leur durée est aussi longue que celle des tuyaux en fonte.

Raccords. — Les canalisations présentent forcément des coudes et des changements de section. Quel que soit le cas, il faut s'attacher à réduire au minimum les pertes de charge qui en sont la conséquence. En ce qui concerne les canalisations en fonte, on trouve dans le commerce des pièces de raccord toutes prêtes correspondant aux différents angles. L'assemblage s'exécute alors par emboîtement.

Quant aux tuyaux Chameroy, on remplace les pièces en tôle bitumée par des manchons en plomb qui, par leur élasticité, se prêtent mieux aux exigences du tracé. Pour faire ce raccordement, on met à nu, sur quelques centimètres, l'extrémité des deux conduites à réunir ; puis on prend un manchon en plomb de même diamètre, que l'on cintre en conséquence et dont on évase les deux bouts de façon à pouvoir recouvrir les extrémités des tuyaux en tôle. On soude ensuite le plomb et la tôle et on recouvre les joints de bitume.

Si les conduits à raccorder ont un diamètre assez considérable ($0^{m},135$ et au dessus), les manchons de raccordement présentent à leurs extrémités deux évasements coudés dans lesquels on fait pénétrer les bouts, préalablement dénudés et entourés d'une corde, des conduits à réunir. Au moyen d'un refouloir on repousse la corde jus-

qu'au fond de l'emboîtement; on mate ensuite le plomb de manière à bien l'appliquer sur la corde. On achève le joint en intercalant entre le plomb et la tôle nue une bague en caoutchouc. Pour donner plus de solidité, une frette passée au-dessus du plomb assure par son serrage l'étanchéité du joint (*fig.* 58).

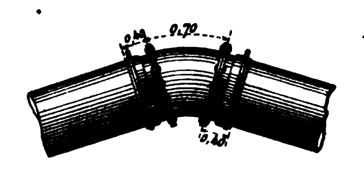


Fig. 58. — Raccord des tuyaux Chameroy.

Lorsqu'on veut réunir deux canalisations à angle droit, l'une des conduites est coupée sur une longueur de 50 à 60 centimètres, et on intercale, en suivant les prescriptions précédentes, un raccord en plomb en forme de té. La branche principale du té est jonctionnée à l'aide d'un joint à brides avec la seconde conduite par l'intermédiaire d'un manchon en plomb de $0^m,25$ à $0^m,30$ de long soudé à même sur la tôle.

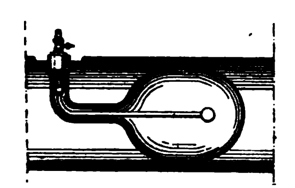


Fig. 59. — Ballon obturateur.

Pour réunir, à une canalisation en charge, une conduite de diamètre assez important, il convient, afin d'éviter les fuites considérables et rendre le travail possible, d'arrêter la circulation du gaz dans la portion de la première conduite intéressée par le travail de jonction. A cet effet on fait usage de ballons obturateurs (*fig.* 59). Au préalable, sur la conduite en charge, on découpe au moyen d'un foret un trou d'un diamètre plus ou moins grand. Par ce trou, on introduit un ballon en caoutchouc qui porte un ajutage avec robinet extérieur. A l'aide d'une pompe ou d'un soufflet, on gonfle le ballon qui finit par obstruer le tuyau, on ferme alors le robinet. Dès lors il est facile de travailler sur le tuyau sans déperdition sensible de gaz. Le raccord terminé, il suffit d'ouvrir le robinet pour vider le ballon et le retirer. On obstrue ensuite le trou au moyen d'une plaque soudée, si la conduite est en tôle, ou d'une plaque bridée, si elle est en fonte.

64. Branchements. — *Installation.* — La conduite générale étant établie, on branche sur elle les conduites secondaires destinées à amener le gaz aux appareils. Ces branchements se font généralement en plomb, lorsque leur diamètre est inférieur à $0^m,081$. Pour des diamètres supérieurs, on emploie la fonte ou les tuyaux Chameroy. Les tuyaux en plomb ont l'avantage de s'oxyder fort peu et d'être très malléables, ce qui rend leur pose facile.

Pour établir le branchement, il faut commencer la pose par l'extrémité opposée à la conduite, c'est-à-dire du côté des brûleurs ; on évite ainsi d'avoir le gaz en pression dans la conduite secondaire pendant la durée du travail.

Lorsqu'il s'agit du branchement d'un candélabre, on ouvre une tranchée dirigée vers la conduite d'alimentation. Le profil de cette tranchée doit être réglé en pente vers la conduite principale, en ayant soin de faire poser le tuyau de plomb sur des voliges en bois goudronné. Le branchement est terminé à son extrémité par un collet à brides, comme il est indiqué plus loin, de manière à assurer sa jonction avec un moignon de prise réuni à la conduite principale. La prise ne se fait pas de la même façon pour les tuyaux en fonte ou les tuyaux Chameroy.

Dans ce dernier cas on enlève le bitume sur la partie choisie et on nettoie la tôle avec soin ; si l'étamage est oxydé, on le reconstitue en décapant la tôle à l'esprit-de-sel, à la résine ou à la bougie. On prépare ensuite un moignon de prise constitué par un bout de tuyau de $0^m,25$ de long, dont les extrémités ont été retroussées extérieurement pour former collet. On soude l'un de ces collets à la tôle étamée au moyen d'une soudure dite d'empâtement. Lorsqu'elle est refroidie, on reconstitue la chemise de bitume de la conduite sur toutes les parties qui en avaient été dégarnies. On perce alors, à l'aide d'une mèche engagée dans le moignon, un trou d'un diamètre égal à celui du branchement. Cette mèche retirée, on réunit l'autre extrémité du moignon de prise par une paire de brides au collet du branchement. Il suffit alors d'étaler du bitume autour du joint (*fig.* 60) ainsi réalisé, de façon à éviter toute oxydation. Ce système à brides a comme avantage de permettre, le cas

échéant, l'isolement d'un branchement, en intercalant une plaque pleine en plomb entre les collets.

Si la conduite est en fonte, la prise se fait non plus au moyen d'une soudure, mais à l'aide d'un collier en fer et d'un joint au mastic ou au cuir gras (*fig.* 60). On coupe le tuyau en plomb à une longueur telle qu'il puisse pénétrer dans le

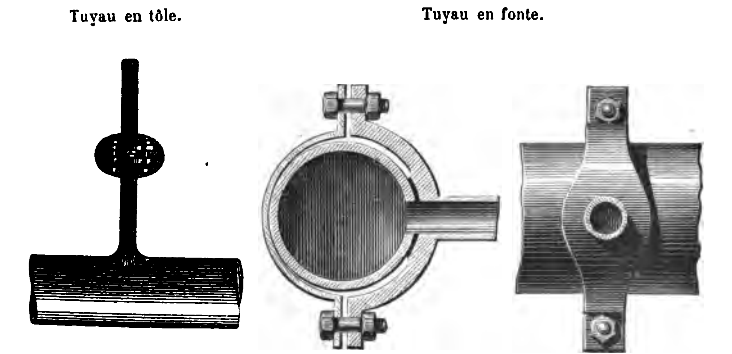


Fig. 60. — Branchements.

tuyau en fonte d'une quantité égale à l'épaisseur de la fonte. On y soude un collet en plomb qui laisse dépasser un bout de tuyau de plomb d'une longueur égale à cette épaisseur. On perce dans la fonte un trou d'un diamètre égal au diamètre extérieur du plomb. Cette disposition a pour but d'assurer la position du branchement en plomb et d'éviter que le joint, s'il est au mastic, ne vienne obstruer une partie de sa section. On a eu soin, avant de souder le collet, d'enfiler sur le tuyau en plomb la partie du collier en fer qui est percée à cet effet. On n'a donc plus, après avoir fait le joint, qu'à appliquer contre le tuyau en fonte la deuxième moitié de ce collier et à serrer les boulons. Le joint est rendu étanche avec un mastic ou une rondelle de cuir gras. Le percement des conduites se fait au moyen de la machine à forer (*fig.* 61). Les centres des mèches employées au percement sont filetés de manière à

retenir la rondelle de métal découpé et l'empêcher de tomber dans la conduite.

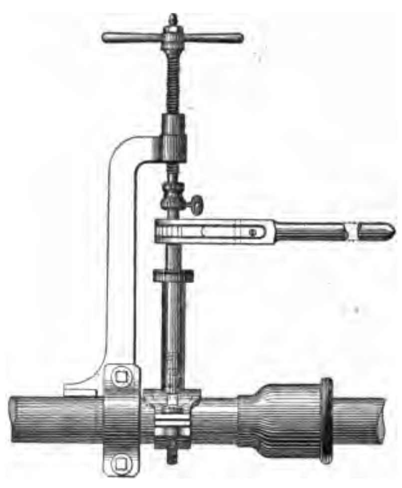


Fig. 61. — Machine à percer.

Diamètre des branchements. — Les dimensions des tuyaux de branchement doivent être proportionnées à l'importance de l'installation à desservir. Le tableau ci-dessous fournit quelques renseignements à ce sujet :

Nombre de becs de 140 litres	5 à 19	20 à 39	40 à 59	60 à 99	100 à 299	300 à 500
Diamètre du branchement	0,027	0,034	0,041	0,054	0,081	0,118

65. **Drainage des conduites et des branchements.** — Lorsque les conduites de gaz sont disposées sous des voies plantées d'arbres, il est indispensable d'empêcher toute infiltration du gaz provenant des fuites, dans la terre végétale et les racines des plantes. A cet effet, on procède au drainage des conduites.

La conduite est entourée (*fig.* 62) d'abord de sable de rivière; puis au-dessus de la génératrice supérieure, à 10 centimètres environ, on dispose une ligne de tuyaux en poterie de 0m,08 de diamètre, placés bout à bout sans former joint. Tous les 50 à 60 mètres, on intercale un tuyau spécial en forme de **T**, dont la branche verticale formant cheminée vient déboucher dans un regard en fonte, disposé sur le sol de la voie. Enfin, au-dessus de la ligne des tuyaux en poterie, on établit une bande de carton bitumé, en forme de voûte, qui oblige le gaz qui pourrait s'échapper à s'engager dans la ligne de tuyaux et de là dans l'atmosphère.

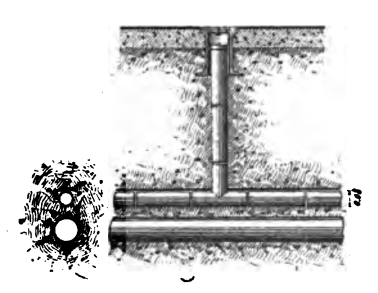


Fig. 62. — Drainage des conduites.

Il est bon d'assurer également le drainage des conduits, dans tous les cas où la chaussée est à revêtement compact, tel que pavage sur fondation de béton ou d'asphalte. On empêche ainsi toute accumulation du gaz dans les cavités qui peuvent se produire accidentellement dans le sous-sol.

Le drainage des branchements est réalisé simplement en les entourant d'une conduite en poterie ou de caniveaux en sapin créosoté. Le dernier drain, du côté où la conduite sort du sol, est mis en communication avec l'extérieur, au moyen d'un plomb de 0m,013, aboutissant à une ventouse circulaire de 0m,03 débouchant à l'air libre.

66. Siphons, robinets. — *Siphons.* — Par suite de son passage dans les divers appareils laveurs et épurateurs, le gaz se charge de vapeur d'eau qui se condense dans les conduites et peut les obstruer. On remédie à cet inconvénient en installant, de distance en distance, aux points bas, des collecteurs d'eau ou siphons qu'on vide de temps à autre au moyen d'une pompe à main vissée à l'extrémité du tuyau de vidange plongeant jusqu'au fond du collecteur.

Au lieu de siphons, on peut employer des tuyaux isolateurs qui, tout en recueillant l'eau de condensation, peuvent servir, en outre, à l'isolement des conduites. Ils sonten forme d'U

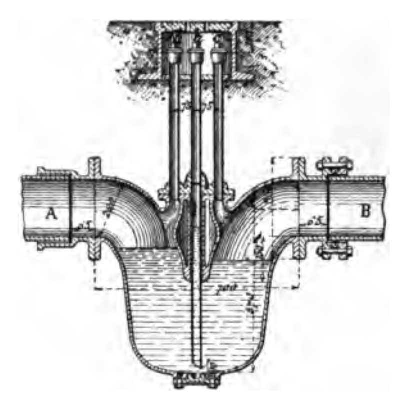


Fig. 63. — Isolateur hydraulique.

(*fig*. 63) dont les deux branches sont raccordées à la conduite générale. A l'intérieur de l'isolateur pénètrent trois tubulures, dont une seule, *a*, plonge jusqu'au fond ; elle sert soit à la vidange, soit, au contraire, au remplissage de l'isolateur. Dans ce dernier cas, il est facile de comprendre qu'en réunissant les deux conduits *b* et *c* par une conduite extérieure sur laquelle on a installé un petit gazomètre gradué, il soit facile de mesurer le gaz qui passe de A en B. Comme on le verra dans la suite, cet appareil peut servir à la recherche des fuites.

Robinets ordinaires. — Lorsque, pour une cause quelconque, on veut pouvoir isoler une conduite, il faut la munir d'obturateurs faciles à manœuvrer. On emploie des vannes de 0m,810 à 1 mètre de diamètre ; elles sont formées par un plateau en forme de coin pénétrant dans une coulisse (*fig*. 64). Il y a, du reste, un très grand nombre de dispositifs. Pour des diamètres plus faibles, de 40 à 200 millimètres, on emploie des robinets en fonte ; ils sont, comme les vannes, à deux ou trois voies suivant les besoins. La pose de ces appareils doit

se faire avec beaucoup de soin. Les vannes se placent entre deux tuyaux spéciaux à brides pour le raccordement. Au

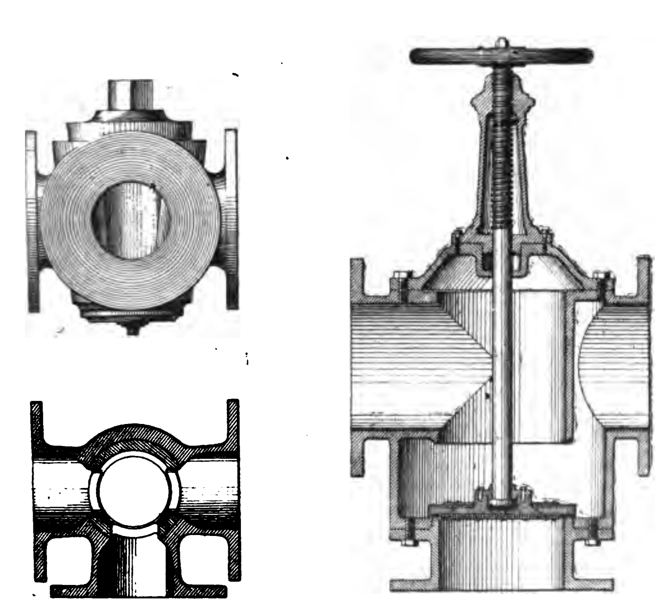


Fig. 64. — Robinet et vanne à 3 voies.

contraire, pour les robinets, il est préférable de recourir aux joints à emboîtement.

Robinet d'arrêt à coffret. — Les branchements, destinés à l'alimentation des lanternes d'éclairage public, ne sont généralement pas pourvus d'appareils intermédiaires entre la conduite principale et le foyer desservi. Il n'en est plus de même lorsqu'il s'agit d'un immeuble. Le branchement s'arrête alors à la façade, à un robinet à coffret placé dans le soubassement de la maison (*fig.* 65). Cette disposition permet d'isoler rapidement les canalisations intérieures du reste du réseau.

A cet effet, le coffret du robinet est fermé par une porte

en métal, dont les agents de la Compagnie et ceux du contrôle ont seuls la clef, que l'on introduit par un orifice *a*. Une seconde ouverture *b* permet à l'abonné de manœuvrer, de l'extérieur, le robinet de la conduite. Toutefois il est facile à ces agents de fermer l'orifice *b* en plaçant derrière un bouton *c* en cuivre, supporté par une tige *d* fixée à la porte par

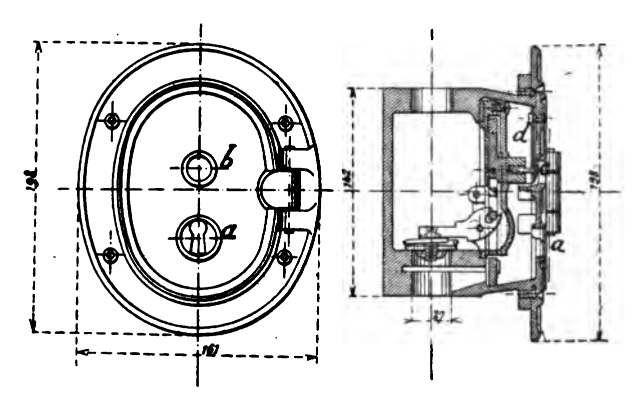


Fig. 65. — Robinet d'arrêt à coffret.

l'intermédiaire d'une vis autour de laquelle cette tige tourne à frottement dur. Cette manœuvre ne peut se faire qu'en ouvrant la porte du coffret.

Une fois mis, il est impossible à l'abonné de pouvoir toucher au robinet. Le bouton, visible extérieurement, indique si le gaz est à la disposition ou non de l'abonné. L'emploi de ce robinet à coffret, dont l'entretien est fait aux frais de l'abonné, n'est pas général.

Robinet sous dalles. — Lorsque les branchements sont d'un diamètre important, il est difficile de loger les coffrets correspondants dans les soubassements des façades sans nuire à l'aspect de ces dernières. On remplace alors le robinet à coffret par un robinet sous dalles, c'est-à-dire placé dans un regard sous la voie publique. La figure 66 représente un de ces appareils.

On peut d'ailleurs disposer en amont et en aval du robinet

sous dalles des vannes permettant d'arrêter le passage du gaz lorsqu'on veut nettoyer le robinet. Une plomberie secon-

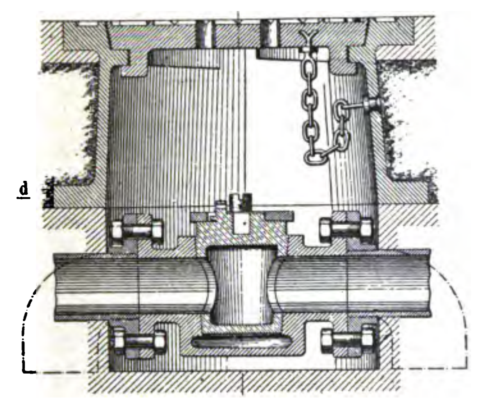


Fig. 66. — Robinet sous dalles.

daire disposée d'une vanne à l'autre assure la livraison du

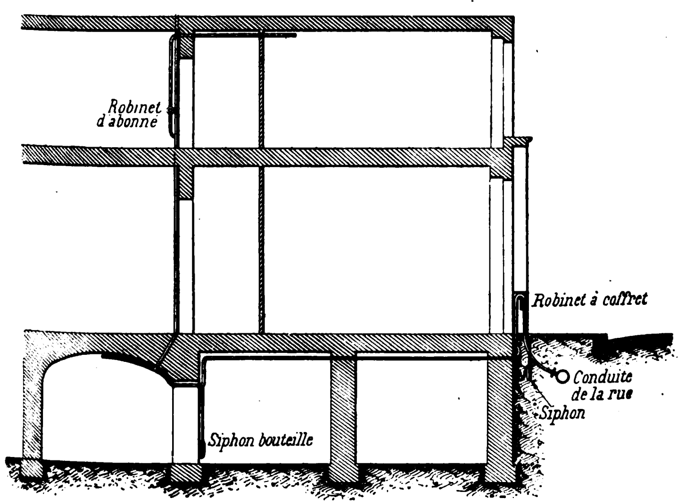


Fig. 67. — Installation de colonne montante.

gaz pendant que s'effectue le nettoyage.

67. Colonnes montantes. — *Conditions d'installation.* — A sa sortie du coffret ou du robinet sous dalles, le branchement est dirigé à l'intérieur de l'immeuble (*fig.* 67). Lorsque les brûleurs sont répartis aux divers étages, il est avantageux d'établir une conduite maîtresse ou colonne montante à proximité des appartements à desservir. La colonne montante est généralement installée le long d'une des parois de la cage de l'escalier. Au droit de chaque étage, on établit un nouveau branchement se raccordant à la colonne au moyen d'un robinet à coffret. Toutes ces conduites se font le plus souvent en plomb; elles doivent remplir certaines conditions pour éviter tout risque d'accidents :

1° Être d'un diamètre suffisant pour ne pas exagérer la perte de charge.

Le tableau ci-dessous de Schilling donne les diamètres à adopter pour des longueurs et des consommations déterminées.

LONGUEUR de la CONDUITE EN MÈTRES	DIAMÈTRE INTÉRIEUR DES TUYAUX EN MILLIMÈTRES							
	9,5	12,5	16	19	25,5	32	38	51
	Nombre de flammes à 140 litres de consommation horaire							
2	3	10	18	30	60	120	180	400
4	3	8	16	25	50	100	150	320
6	2	6	13	20	40	80	120	260
8	2	5	10	15	32	64	100	220
10	1	4	8	13	25	50	80	180
15	1	3	5	9	20	40	60	155
20		2	5	8	17	35	55	132
25		1	4	7	15	30	50	120
30		1	4	6	12	25	45	112
35			3	5	11	22	40	103
40			2	4	10	20	35	96
45			2	4	9	19	30	88
50			1	3	8	17	28	80
60				3	7	16	26	70
70				2	6	15	24	65
80				2	5	14	22	60
90				1	4	13	20	55
100				1	3	12	18	50
150					2	9	15	43
200					1	8	13	36
250						7	12	30
300						6	11	25

2° Être très apparentes (arrêté du préfet de la Seine du 2 avril 1868), sauf naturellement dans le cas d'impossibilité, comme aux traversées des murs, des plafonds ou d'espaces peu accessibles. Il faut avoir soin alors d'entourer le plomb d'un manchon en fer ou en cuivre, on évite ainsi l'écrasement du tuyau et, par suite, les fuites.

3° Le gaz entraînant toujours un peu d'eau avec lui, il est nécessaire de la recueillir aux points bas et de l'évacuer par un orifice fermé au moyen d'un bouchon à vis. A chaque point bas de la colonne montante, on installe des *siphons à bouteille* constitués par un plomb recourbé ouvert à l'une de ses extrémités. Ce tuyau est enfoncé dans une sorte de bouteille en fonte munie d'un bouchon dans le bas par où on fait écouler l'eau condensée. Ces siphons présentent un inconvénient : il arrive parfois qu'en soufflant dans les tuyaux on désamorce le siphon ; le gaz se répand alors dans la bouteille qui n'est pas étanche. Il est facile d'y remédier en introduisant de l'eau par un orifice supérieur.

4° Les conduites doivent être étanches. On s'en assure en remplaçant un brûleur quelconque par un manomètre. Tous les robinets des becs étant fermés, on ouvre celui du compteur jusqu'à ce que toute la pression se soit bien établie dans la conduite. On ferme alors ce dernier robinet ; s'il n'y a pas de fuite, la pression doit se maintenir sur le manomètre ;

5° Les locaux éclairés par le gaz doivent être toujours bien ventilés. Si l'on fait, par exemple, un branchement dans un plafond ou dans un mur, il faut avoir soin de ménager en cet endroit une ventouse pour empêcher toute accumulation du mélange explosif.

Pose des conduites. — Les tuyaux en plomb des branchements ou colonnes montantes sont maintenus de distance en distance par des clous à crochet espacés de $0^{m},50$ environ. Lorsque la plomberie a un diamètre supérieur à 35 millimètres, ils sont remplacés par des colliers à scellement d'une plus grande résistance. L'assemblage des tuyaux bout à bout se fait au moyen d'une soudure à nœud (1 de plomb pour 1 1/2 ou 2 d'étain). A cet effet, on découpe les extrémités à raccorder, puis on écarte à l'aide d'une toupie en buis l'un des tuyaux

et on rétrécit l'autre au marteau. On introduit les extrémités l'une dans l'autre, et on termine en répandant de la soudure fondue sur le joint.

Lorsqu'on réunit deux tuyaux à angle droit, on fait une soudure dite d'empâtement ; l'une des conduites est percée d'un orifice dans lequel on engage l'extrémité rétrécie de l'autre tuyau et on fait la soudure comme pour les nœuds ordinaires.

L'extrémité de la conduite est fermée au moyen d'une soudure dite de tamponnage. Dans ce cas, on coupe d'équerre l'extrémité du plomb et on le mate peu à peu de manière à rétrécir l'orifice. On dispose ensuite, autour de ce tamponnage de la soudure qui donne une parfaite étanchéité.

On peut avoir à intercaler, sur les tuyaux, des robinets en cuivre ; leur soudure ne présente rien de particulier. Les robinets employés sont formés d'une clef dont la tête, mue par une poignée ou une manette, porte un taquet qui se déplace dans une encoche ménagée sur le boisseau ; ce taquet a pour but de limiter la course de la clef dans l'un ou l'autre sens (*fig.* 68).

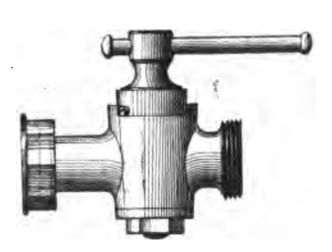


Fig. 68. — Robinet en cuivre.

Les tuyaux se font également en fer; ils conviennent plus particulièrement pour les installations rapides (éclairage des jours de fête). Leur rigidité se prête facilement à la traversée des grandes espaces dans le vide (éclairage des halles, portiques). Ils sont taraudés à leurs extrémités, l'assemblage se fait au moyen de manchons filetés. Pour rendre le joint étanche, on l'entoure d'étoupe imbibée de céruse. Comme pour la tuyauterie en fonte, on trouve des modèles spéciaux pour les branchements, coudes, etc. Ce mode de canalisation a comme inconvénient son obstruction rapide par suite de l'oxydation, mais le nettoyage en est très facile ; en outre, il résiste très bien aux chocs.

A l'intérieur des appartements, on emploie quelquefois des tuyaux en cuivre moins épais et plus rigides que ceux en

plomb. Ils conviennent particulièrement pour les salles ornementées où, grâce à leur faible diamètre, on peut les dissimuler au milieu des moulures. Ils se soudent facilement aux tuyaux de plomb et se raccordent entre eux à la manière ordinaire.

68. Fuites, obstructions. — *Fuites.* — D'une manière générale, les conduites ne sont pas étanches; à la longue, les joints se disloquent, les tuyaux se rouillent et se percent, il en résulte des fuites. Leur importance atteint 7 à 8 0/0 du gaz fabriqué ; elles sont d'autant moins considérables que la pression est faible.

Les fuites sont décelées par le compteur d'émission dont les évaluations sont supérieures à celles totalisées des compteurs d'abonnés. Lorsqu'on dépasse 7 0/0 de la fabrication, il faut procéder à leur recherche pour y remédier. Il convient d'ailleurs de remarquer que la différence accusée par le compteur d'émission et la totalité des compteurs d'abonnés n'indique pas exactement la perte de gaz, attendu que la pression n'a pas la même valeur dans les deux séries de compteurs.

Soient en effet : p, la pression du compteur d'émission ; p', la pression moyenne des compteurs d'abonnés ; p'', la pression moyenne dans le réseau ; δ, la densité du gaz ; α, la pression atmosphérique ; a, le poids du litre d'air.

Si une masse M sort de l'usine, une certaine partie m se perdra en fuites ; si bien que la masse du fluide M' consommée chez les abonnés sera donnée par la relation :

$$M' = M - m.$$

Pour calculer cette expression en fonction des volumes V', V, V'', correspondant aux masses M', M et m, nous devons appliquer la formule générale donnant la masse d'un gaz en fonction de sa pression p, du volume v, de sa densité δ et du binôme de dilatation $(1 + \beta t)$,

$$M = \frac{a.p.v.\delta}{1 + \beta t}.$$

Nous aurons dès lors la relation :

$$\frac{a(\alpha + p')V'\delta}{1 + \beta t'} = \frac{a(\alpha + p)V\delta}{1 + \beta t} - \frac{a(\alpha + p'')V''\delta}{1 + \beta t''}.$$

Si nous supposons que la température est la même dans toute la distribution, la formule devient, après simplification :

$$(\alpha + p')V' = (\alpha + p)V - (\alpha + p'')V'';$$

d'où :

$$V'' = \frac{(\alpha + p)V - (\alpha + p')V'}{(\alpha + p'')};$$

le volume V'' indique la perte correspondant à un débit initial V.

Il y a plusieurs méthodes pour rechercher les fuites ; nous décrirons les plus simples, les meilleures. La canalisation présentant un très grand parcours, il faut d'abord déterminer la ligne du réseau qui fuit, puis ensuite le point de cette ligne. On profite tout d'abord des robinets de barrage pour sectionner les conduites ; le plus éloigné est fermé, puis les suivants en se rapprochant successivement des compteurs de l'usine et en évaluant les pertes à chaque fractionnement. A défaut de robinets de barrage, on peut employer les ballons obturateurs signalés précédemment. La lecture au compteur n'est possible que si la consommation est arrêtée dans toutes les conduites qu'il commande, c'est-à-dire dans un cas tout à fait spécial. On peut faire l'essai direct d'une conduite isolée. L'une de ses extrémités est fermée, l'autre communique avec une conduite en charge ; en intercalant un compteur, s'il y a des fuites, le compteur fonctionnera d'une manière continue et donnera l'importance de la perte.

Le système des robinets de barrage ou des ballons obturateurs peut être remplacé par celui des isolateurs hydrauliques (*fig.* 63) qui, tout en faisant office de siphon, peuvent servir à la recherche des fuites. Le siphon étant plein d'eau, il suffit de faire communiquer, par l'ouverture *c*, la conduite B en amont de celle à essayer avec un gazomètre portatif. Ce

dernier étant rempli de gaz, on l'isole de B au moyen d'un robinet et on le met en communication par *b*, avec la conduite à essayer A. L'abaissement de la cloche du gazomètre indiquera la valeur des fuites.

Quand on a déterminé la section dans laquelle se produit la perte, on peut trouver l'endroit exact au moyen d'un papier imbibé de chlorure de palladium, qui noircit sous l'action de l'oxyde de carbone du gaz. Pour faire cet essai, le long de la conduite tous les 10 mètres environ, on enfonce dans le sol des tubes dans lesquels plonge un papier réactif. Le gaz, en montant à l'intérieur des tubes, noircit le papier à l'endroit de la perte. La recherche des fuites demande beaucoup de soin; il faut surtout ne pas oublier de bien fermer tous les robinets des brûleurs.

Les fuites à l'intérieur des appartements se décèlent en remplaçant un bec par un manomètre et en mettant la conduite en charge; s'il y a des pertes, le manomètre baisse. Leur importance se mesure au compteur qui continue de fonctionner. Pour déceler l'endroit exact, le moyen le plus simple est le flambage, il consiste à déplacer, le long de la canalisation, une flamme au contact de laquelle le gaz prend feu. Ce procédé est très dangereux, à cause des risques d'incendie; on ne doit pas l'employer. Il vaut mieux se contenter de passer sur les tuyaux un peu d'eau de savon: une bulle se forme au point où le gaz fuit. Très souvent, du reste, les fuites s'annoncent par l'odeur ou par le sifflement du gaz à sa sortie. On peut même augmenter ce dernier caractère par de l'air sous pression qu'on injecte au moyen d'une pompe dans la canalisation à éprouver.

Obstructions. — L'obstruction des conduites ou des branchements provient le plus souvent des dépôts de naphtaline ou d'eau condensée. On dégage les conduites à l'aide d'un hérisson que l'on introduit par un trou percé dans ce but et qu'on déplace le long du tuyau, fermé au préalable par un ballon à chaque extrémité. Dans le cas de branchements, il suffit d'introduire de l'alcool qui a la propriété de dissoudre la naphtaline. A l'aide d'un soufflet, on chasse la dissolution dans la conduite principale.

69. Compteurs. — *Compteurs ordinaires à eau.* — Pendant longtemps on s'est abonné au bec et à l'heure; mais ce moyen présentait trop d'inconvénients pour l'éclairage privé. On ne l'a conservé que pour l'éclairage public. L'emploi du compteur est donc devenu général.

Il y a deux sortes de compteurs: les compteurs *secs* et les compteurs *humides*. Les premiers sont les plus simples, mais leurs renseignements manquent de précision. Ils sont cependant assez répandus à l'Étranger. En France, les compteurs humides sont seuls employés; la présence de l'eau entraîne bien l'obligation d'un nivellement périodique, mais cette sujétion a été admise sans difficulté.

Le principe est basé sur la rotation d'un cylindre horizontal divisé en plusieurs compartiments égaux recevant le gaz du côté de la canalisation générale et le déversant dans celle des brûleurs. Connaissant le volume du cylindre, il suffira d'enregistrer le nombre de tours pour savoir à chaque instant la quantité de fluide débité.

L'appareil comporte quatre organes principaux : 1° le volant; 2° le régulateur; 3° le flotteur avec sa soupape; 4° la transmission du mouvement avec le cliquet (*fig.* 69).

Le *volant* V, qui est la partie la plus importante de l'appareil, est formé par un tambour en étain durci ou en tôle de fer, divisé en quatre chambres distinctes ou augets par des plans inclinés sur l'axe. Sur une paroi verticale de ce tambour, ou face avant, se trouve disposée une calotte sphérique A dans laquelle a lieu l'arrivée du gaz; l'entrée du gaz dans chaque auget se fait par une fente s'ouvrant dans cette calotte; la sortie est sur la face opposée et débouche dans la caisse du compteur. Le tambour tourne autour d'un axe dans une caisse cylindrique en tôle contenant de l'eau. Lorsque l'une des ouvertures de l'auget est au-dessus de l'eau, l'autre est complètement noyée; il n'y a jamais communication directe entre l'entrée et la sortie, et chaque compartiment est bien rempli de gaz avant de le laisser échapper dans la caisse. Pendant le fonctionnement de l'appareil, les cloisons des augets sont soumises d'un côté à la pression des brûleurs, de l'autre à celle d'arrivée; la différence produit le mouvement de rotation. Le débit est continu, car une

chambre n'est pas complètement vidée que déjà la suivante commence à fournir du gaz. Le volant ne doit pas faire plus de 100 tours à l'heure.

L'entrée du gaz sous la calotte a lieu par un siphon dont

(A) Bouchon de dégorgement. (B) Garde hydraulique.

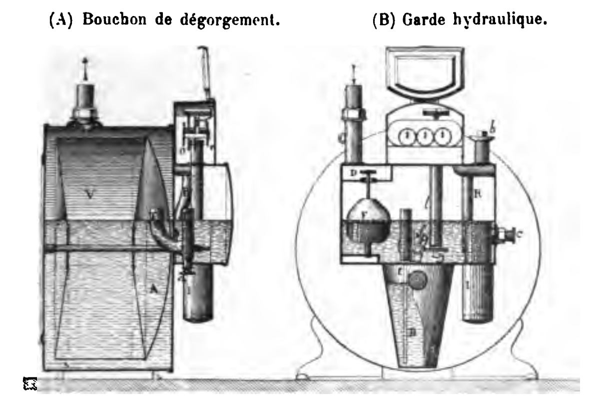


Fig. 69. — Compteur à gaz ordinaire.

les deux branches T s'élèvent au-dessus de l'eau. La branche de départ du siphon débouche dans une caisse spéciale à l'avant du compteur. L'eau qui, accidentellement, pourrait engorger le siphon, est retirée soit au moyen d'un bouchon à vis *a* au point le plus bas, soit au moyen d'un tube *t* plongeant dans une cuve B et faisant joint hydraulique.

Le volume de chaque auget est limité par les parois du volant et par le plan horizontal de l'eau, c'est-à-dire par une partie qui ne tarde pas à baisser, par suite de l'évaporation. Il est nécessaire de le régulariser à certains intervalles sans pouvoir l'élever ; en effet, s'il est trop bas, le volume des augets est trop grand ; l'inverse a lieu s'il est trop haut. Le réglage est obtenu au moyen de deux tubes formant le *régulateur*. Le tube R, qui plonge dans l'eau de la caisse avant, débouche à l'extérieur par un orifice *b* par où l'on verse le liquide. Le deuxième tube I a son orifice affleurant le niveau fixe du compteur ; tout ce qui dépasse s'écoule dans ce tube, et de là, à l'extérieur, par le bouchon à vis *c*.

Le régulateur se trouvant du côté de l'arrivée du gaz, le niveau de l'eau n'est pas le même qu'à la sortie. Cette dénivellation est produite par l'absorption de pression de 3 millimètres que nécessite la rotation du volant. Il est indispensable, au point de vue du nivellement, que le régulateur soit soumis à la pression de l'usine. Pour empêcher que le niveau de l'eau ne s'abaisse au point de permettre le passage direct du gaz par le centre même de la caisse, le tuyau d'arrivée est muni d'une *soupape* D avec *flotteur* F qui suit l'eau dans ses dénivellations et finit par fermer l'orifice d'admission.

L'enregistrement du nombre de rotations du volant se fait au moyen d'une *transmission* par vis sans fin et d'une roue héliçoïdale. Le mouvement se transmet, par l'intermédiaire d'un arbre *l*, à une série *o* d'engrenages enregistreurs, dont le nombre de tours est indiqué par des aiguilles sur des cadrans gradués en litres, mètres cubes, dizaines et centaines, etc., suivant l'importance du compteur. Pour empêcher tout retour sur lui-même de l'appareil, l'axe du tambour porte une roue avec *cliquet f*.

L'importance d'un compteur s'évalue en becs correspondant chacun à un débit normal de 140 litres. Jusqu'à 200 becs, c'est-à-dire 28.000 litres, les compteurs se font en tôle ; au delà on les construit en fonte. Dans ce cas, vu les dimensions, on supprime la soupape et son flotteur pour ne pas courir le risque d'occasionner l'arrêt du gaz en cas d'abaissement du plan d'eau. Un niveau d'eau, recevant par le haut la pression du gaz à l'arrivée, indique la hauteur du liquide. Le reste de l'appareil ne présente rien de particulier ; quelquefois cependant, on place les conduites d'arrivée et de sortie dans le voisinage l'une de l'autre, de manière à pouvoir les faire communiquer directement par un robinet spécial en cas d'avarie au compteur. En temps normal, ce robinet est plombé.

Le nivellement du compteur doit se faire tous les mois environ. Pour cette opération, il faut fermer l'arrivée du gaz, ouvrir du côté de la sortie un robinet quelconque et verser ensuite l'eau, après avoir eu la précaution de retirer les bouchons à vis de l'appareil. Dans ces conditions le niveau s'établit normalement ; l'opération est terminée quand le liquide

s'écoule par l'orifice du niveau *c*. On vérifie en même temps le fonctionnement régulier du compteur ; il suffit d'ouvrir le robinet d'admission et celui d'un brûleur quelconque ; le volant doit tourner sous le plus faible débit.

L'emplacement du compteur nécessite certaines précautions. Il faut éviter de le placer dans des endroits humides, froids ou chauds. Au froid, le courant gazeux peut être exposé à un refroidissement brusque qui peut amener la congélation de certains carbures. Il doit être posé en contrebas des conduites, de manière à ramener les condensations ou entraînements d'eau possibles, et bien horizontalement, pour avoir le niveau normal. En effet, s'il penche en avant, la capacité du volant est agrandie ; en exagérant même cette inclinaison, on peut arriver à faire passer le gaz directement par le centre du volant dans la caisse sans enregistrer la consommation ; l'inclinaison inverse produit l'effet contraire. Enfin, lorsqu'un compteur doit être placé dans un local habituellement chaud, dans une cuisine par exemple, il convient de le placer de préférence à terre et non près du plafond, où la température est particulièrement élevée, pour ne pas provoquer l'évaporation de l'eau, l'abaissement de la soupape et l'arrêt complet du gaz.

Avaries du compteur. — Il peut arriver que le compteur cesse de fonctionner ; il faut s'assurer avant tout que le gaz parvient bien jusqu'à lui, en retirant la clef du robinet d'introduction.

Souvent, par suite du manque d'eau, la soupape d'arrivée obstrue l'entrée du compteur ; un nivellement rapide rétablit la circulation ; elle peut rester collée sur son siège, quelques coups frappés sur la caisse lui font reprendre sa position normale. Parfois, au contraire, il y a excès d'eau : le siphon est *noyé*, c'est-à-dire rempli d'eau ; il suffit d'ouvrir son bouchon de vidange *a* et en même temps celui du régulateur, pour retirer le trop-plein. Cet inconvénient n'a pas lieu avec le système à garde hydraulique, c'est-à-dire muni du tube *t* ; seulement, dans ce cas, le nettoyage sur place de l'appareil est plus difficile.

La transmission peut offrir une résistance anormale et

ralentir la rotation du volant, au point de produire des fluctuations de la flamme ; il faut envoyer l'appareil en réparation.

L'enregistrement du gaz peut se faire d'une façon défectueuse ou même pas du tout ; il est facile de s'en assurer soit d'après les consommations précédentes, étant donné le nombre de brûleurs, soit en le mettant en service pour un faible débit. Dans ce cas, une visite en détail s'impose.

Compteurs spéciaux. — Le point délicat du compteur précédent est la dénivellation de l'eau, par suite de son évaporation, qui fausse non seulement les mesures, mais encore peut amener l'arrêt du gaz. Une amélioration fort simple (compteur *P. Rouget*) consiste à faire passer le gaz préalablement dans une bâche pleine d'eau où il se sature avant d'arriver au compteur. Il suffit de renouveler l'eau de cette bâche assez régulièrement. Cet appareil ne préserve pas contre la surélévation du niveau.

On a imaginé toute une série de compteurs rendant le mesurage indépendant des variations du niveau. Parmi les nombreux modèles, il convient de citer celui de *Siry-Lizars*. A l'intérieur du volant ordinaire, on a disposé quatre canaux renversés ou cuillères parallèles deux à deux, et fixés deux, FF′, sur le devant, les deux autres, EE′, à l'arrière (*fig.* 70) ; chaque cuillère fait communiquer deux compartiments opposés. Dans la position indiquée sur la figure, l'admission du gaz a cessé en B, A se vide et C se remplit. La cuillère retient une partie du gaz de A (partie ombrée) déjà mesurée, pour le déverser en C. Le volume réservé est d'autant plus grand que le niveau de l'eau est plus bas, ou réciproquement ; il y a compensation. Pour que cette compensation soit absolue, il faut et il suffit que la section de la cuillère soit égale à la somme des surfaces sur lesquelles a lieu l'abaissement du liquide dans le compartiment mesureur.

Il existe également des compteurs à *paiement préalable*. Sur le côté de l'appareil se trouve un distributeur dans lequel il suffit d'introduire une ou plusieurs pièces de monnaie pour avoir un approvisionnement de gaz à consommer correspondant à la somme versée. Ce système favorise l'emploi du gaz dans les ménages ouvriers ; il a parfaitement réussi en Alle-

magne et en Angleterre et paraît devoir se développer dans les centres industriels. Le cadran de l'appareil subsiste toujours, il sert au contrôle des sommes versées.

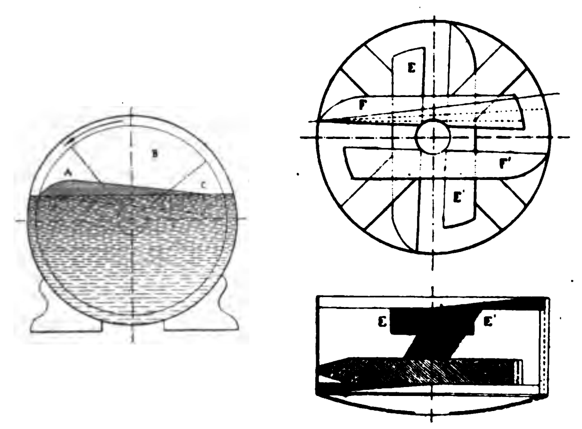


Fig. 70. — Compteur à débit constant.

Congélation des compteurs. — Les compteurs humides ont l'inconvénient d'être arrêtés par la gelée. Plusieurs moyens ont été préconisés : on peut se servir d'alcool dénaturé additionné d'un peu d'huile de naphte, environ le cinquième du volume total; mais le mélange, trop volatil, ne tarde pas à s'évaporer. La glycérine à 1,1 de densité peut être utilisée également; elle a l'inconvénient d'attaquer le métal de la caisse. Il a fallu chercher d'autres substances difficilement congelables, telles que des sels de sulfate de fer, de zinc, de chlorure de calcium, de magnésium, mais les résultats n'ont pas été très satisfaisants. Finalement, on se contente le plus souvent d'entourer le compteur d'étoffes calorifuges, feutre, étoupe, etc.

CHAPITRE VI

BRULEURS

70. Propriétés du gaz. — Le gaz d'éclairage est un fluide incolore, d'une odeur forte due à la présence de certains carbures. Cette odeur ne constitue pas un inconvénient ; c'est une cause de sécurité, car elle révèle les fuites. Sa densité varie de 0,300 à 0,420, elle croît suivant la teneur en hydrocarbures ; il n'y a cependant rien d'absolu. Il est très combustible et brûle au contact de l'air avec une flamme jaune plus ou moins brillante. D'après les théories généralement admises, la puissance lumineuse de la flamme du gaz de houille est due aux particules de carbone provenant de la dissociation à haute température des hydrocarbures qui entrent dans la composition du gaz.

Les hydrocarbures, qui donnent au gaz sa puissance lumineuse, sont le benzol, le toluène, l'éthylène et l'éther d'éthylène. D'après les essais de Knoblauch qui a saturé le gaz de ces différents carbures, presque tout le pouvoir éclairant est dû à ces substances. Sainte-Claire Deville est arrivé aux mêmes conclusions en procédant par élimination de ces diverses matières. Pour obtenir des flammes très éclairantes, il faut débiter le gaz sous une forte *épaisseur* et une faible *pression*. La première condition a pour effet de favoriser la décomposition des carbures avant la combustion et d'empêcher qu'une trop grande portion de fluide soit mise en contact immédiat avec l'air comburant ; la seconde condition est facile à justifier : en effet, si la pression est élevée, le mélange avec l'oxygène de l'air se fait rapidement, la combustion du carbone est précipitée, et la durée du rayonnement des particules abrégée.

Pour obtenir une source lumineuse intense, il faut joindre

aux conditions précédentes celle de la *température* élevée : en effet, tous les corps solides, pour émettre des radiations lumineuses, doivent être portés à un certain degré de chaleur ; plus ce degré est considérable, plus le pouvoir éclairant est grand. Comme on le verra plus loin, on a augmenté la chaleur de la combustion par l'application du principe de la récupération.

Avec les flammes éclairantes une grande partie de cette chaleur s'échappe sans être utilisée, c'est autant d'énergie perdue. Si on augmente la quantité d'air, le pouvoir lumineux diminue, mais la puissance calorifique augmente ; en portant un corps solide à l'incandescence dans cette flamme incolore, mais chaude, on augmente le rendement. On est même arrivé, en produisant la combustion complète du gaz par un mélange rationnel avec l'air, à obtenir une amélioration très importante.

Lorsqu'on mélange l'air et le gaz dans certaines proportions, il se forme un composé explosif. Le pouvoir détonant commence à 3 0/0 de gaz ; il atteint son maximum dans le voisinage de 11 volumes d'air pour 1 de gaz. Il suffit alors de la moindre étincelle ou du contact d'un corps incandescent pour produire l'explosion. On ne saurait donc trop éviter d'approcher une flamme d'un endroit où il peut y avoir du gaz accumulé, comme dans le voisinage d'un compteur, par exemple.

Dans tout brûleur la quantité de gaz consommé dépend des dimensions de l'orifice de sortie et de la pression ; il suffit d'agir sur ces facteurs pour obtenir les conditions d'épaisseur et de vitesse convenables. Il convient d'observer qu'un brûleur établi pour un gaz déterminé ne convient pas pour un autre. En effet, tous les gaz n'ont pas la même composition, et les quantités qui s'écoulent, par un même orifice, sous la même pression, sont en raison inverse des racines carrées des densités. Cette observation, toutefois, n'influe en rien sur les conditions de principe établies précédemment.

Le nombre des appareils à gaz est assez considérable, on peut les classer en cinq groupes :

1° Becs ordinaires à air libre ;

2° Becs intensifs à air libre ;
3° Becs intensifs à air chaud ;
4° Becs à incandescence ;
5° Becs à gaz carburé.

§ 1. — Bruleurs a air libre

71. Bec bougie. — Ce brûleur, le plus simple de tous, est constitué par un bouton sphérique en fonte ou en stéatite, percé d'un trou circulaire dans le prolongement de la conduite. La forme de la flamme obtenue est celle d'un fuseau allongé comme celle de la bougie ordinaire.

C'est un brûleur à faible dépense, mais aussi à faible intensité. Avec 130 litres de gaz à l'heure, on obtient l'intensité maximum de $0^{carc},89$, correspondant à un bec de 2 millimètres de diamètre et à une pression de 9 millimètres. La hauteur de la flamme mesure alors $0^{m},30$, mais cette flamme est irrégulière. La hauteur de $0^{m},30$ étant trop élevée pour l'éclairage ordinaire, elle est ramenée à $0^{m},10$. Dans ces conditions le meilleur rendement est obtenu avec un bec de 2 millimètres de diamètre brûlant à la pression de 2 millimètres, la dépense est alors de 34 litres à l'heure, et l'intensité lumineuse de $0^{carc},21$, soit 161 litres pour la carcel-heure.

Les becs bougies jouissent de la propriété d'exiger une même quantité de gaz pour la même hauteur de flamme, quel que soit le diamètre. On peut vérifier avec eux l'avantage qu'il y a à débiter le gaz sous une forte épaisseur et une faible pression ; avec des diamètres augmentant régulièrement depuis $0^{mm},5$ jusqu'à $3^{mm},5$ pour une même pression, le rendement lumineux croît proportionnellement au diamètre.

Le bec bougie qui, en résumé, ne donne qu'une lumière insuffisante et coûteuse, n'est guère employé que dans quelques éclairages spéciaux, dans des girandoles, des lustres ; pour donner l'illusion complète de la bougie, on entoure alors le tube d'arrivée du gaz d'un manchon en por-

celaine ayant la forme et l'apparence d'une bougie stéarique.

On a imaginé des becs bougies à deux et trois trous assez rapprochés pour que les flammes se confondent, mais le rendement lumineux est le même que s'ils étaient isolés.

72. Bec papillon. — Il est formé par un bouton sphérique creux, en métal ou en stéatite, percé d'une fente régulière par où s'échappe le gaz, en donnant une flamme plate en éventail (*fig.* 71). L'importance du bec dépend naturellement du diamètre du bouton et de la largeur de la fente ; cette dernière dimension varie de 1/10 à 10/10 de millimètre, et sa valeur se trouve indiquée sur le corps du brûleur par une série de rainures circulaires en nombre égal aux fractions de millimètre. D'après Sainte-Claire Deville, le débit Q d'un brûleur à flamme plate peut se représenter par l'équation :

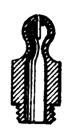



Fig. 71. — Bec fendu.

$$Q = m\sqrt{h},$$

h étant la pression, *m* un coefficient variable avec la nature et la forme de l'orifice. C'est l'expression réduite de la formule plus générale de l'écoulement des gaz par un orifice.

Les observations relatives aux faibles pressions et fortes épaisseurs s'appliquent encore aux becs fendus, comme l'ont démontré les expériences d'Audouin et Bérard. On a été amené ainsi à des lois régissant le fonctionnement de ces brûleurs.

Pour un papillon déterminé, de débit Q croissant avec la pression *h*, l'effet utile, c'est-à-dire le quotient du pouvoir éclairant par la dépense, atteint son maximum avec la pression la plus forte que le bec puisse supporter sans inconvénient pour l'allure de la flamme. Cette limite arrive très vite pour les becs de 2/10 à 4/10 de millimètre; il faut donc donner la préférence aux becs à large fente dont la puissance lumineuse croît proportionnellement au débit.

Pour des valeurs de *m* régulièrement croissantes avec une série de becs déterminés, l'effet utile de chacun d'eux augmente depuis les becs les moins puissants jusqu'à ceux

pour lesquels m est voisin de 40. Au-delà de ce chiffre, l'effet utile tend à baisser.

Pour une valeur de Q déterminée, le bec qui aura le meilleur rendement lumineux sera celui qui nécessitera la plus faible pression h. On se trouve donc amené à employer les becs au-dessous de leur maximum d'effet utile. Le rendement lumineux et l'effet utile sont donc deux quantités différentes. Pour les becs consommant de 150 à 200 litres, on donne la préférence à l'effet utile.

La consommation horaire des becs papillons ne dépasse guère 450 litres ; les meilleurs brûleurs correspondant à ces débits donnent la carcel avec 95 litres. Mais, pour les débits moyens, le plus avantageux est le brûleur 7/10 avec un diamètre de bouton de 7 millimètres ; il donne la carcel avec 119 litres à l'heure, pour une consommation de 152 litres sous une pression de 3 millimètres. On lui préfère cependant le bec 6/10, à cause de sa flamme plus résistante au vent, bien que le rendement soit légèrement inférieur.

Les becs papillons jouissent de la propriété de donner, pour des intensités moyennes, une hauteur de flamme sensiblement constante, la largeur seule augmente à raison de 1 centimètre par 20 0/0 d'accroissement de consommation. Les becs papillons s'emploient plus particulièrement pour l'éclairage extérieur ; ceux à fente mince sont recherchés pour l'éclairage en plein vent, les illuminations ; ils sont avantageux, en outre, dans le cas de gaz riches ; on donne alors la préférence aux brûleurs débitant 40 à 50 litres sous 2 à 3 millimètres de pression.

On a essayé (Danischewski) des becs à deux fentes parallèles, à trois fentes radiales, à deux ou trois têtes ; mais les résultats n'ont pas été meilleurs que ceux qu'il est possible d'obtenir avec un bec fendu simple, judicieusement construit.

73. Bec Manchester. — Le cylindre d'amenée du gaz est fermé à sa partie supérieure par un disque dans l'épaisseur duquel on a ménagé deux trous inclinés l'un sur l'autre (*fig.* 72). En s'échappant par ces trous, presque à angle droit, les veines gazeuses viennent se heurter et produisent une

flamme plate analogue à celle du papillon. Les observations précédentes s'appliquent également à ce brûleur.

Les trous inférieurs à 1 millimètre ont un rendement insuffisant qui équivaut à celui de deux becs bougies de cette dimension ; mais, à mesure que le diamètre augmente, il y a amélioration.

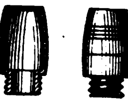


Fig. 72. Bec Manchester.

Pour les consommations de 100 à 150 litres, le meilleur brûleur est celui de $1^{mm},5$; il donne la carcel avec 137 litres de gaz. De 150 à 200 litres, le brûleur adopté est celui de $1^{mm},75$, la carcel est obtenue alors avec 126 litres. En augmentant, du reste, le débit, on se rapproche des résultats du bec fendu à fente large.

Il se différencie du papillon par la constance de la largeur de sa flamme, la hauteur seule augmente; de plus, il a l'avantage précieux de faire entendre un sifflement, lorsque la pression devient exagérée ; la meilleure pression est comprise entre 3 et 7 millimètres.

Bien que son effet utile soit inférieur à celui du bec papillon, le Manchester est adopté lorsque les flammes doivent être entourées de globes en verre; ceux-ci sont, en effet, beaucoup moins sujets à se briser avec la flamme du Manchester dont la largeur est sensiblement constante, malgré les variations de débit que peuvent créer les changements de pression.

On ne s'en sert guère pour l'éclairage extérieur, car, outre son faible rendement, il est d'un entretien difficile.

Entre le bec papillon et le Manchester se placent quelques brûleurs spéciaux ayant l'apparence de l'un et les caractères de l'autre. Comme il s'agit, en effet, de l'écoulement du gaz par un ajutage assez complexe, il est facile de faire varier les conditions d'échappement. On peut augmenter, par exemple, la section de la conduite avant l'orifice même, de manière à diminuer la vitesse ; c'est le cas du *spar-brenner*, dont le bouton a sa sphère évidée, de manière à avoir en tous ses points la même épaisseur (*fig.* 73). Cette disposition très avantageuse a comme conséquence un rendement plus élevé ; on obtient la carcel avec 115 litres seulement. En outre, la largeur et la hauteur de la flamme croissent avec le débit et,

lorsqu'il devient trop élevé, deux petites cornes se détachent sur le côté, avertissant de son mauvais fonctionnement.

Dans le *Manchester fendu* (*fig.* 74) la section reste la même, la sphère n'est pas évidée ; mais la fente est pratiquée suivant un

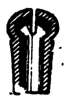


Fig. 73. — Spar-brenner.



Fig. 74. — Manchester fendu.

grand cercle, il a l'aspect d'un papillon ; cependant il est caractérisé par la constance de la largeur de sa flamme; son nettoyage est plus facile que celui du Manchester. On peut encore changer les conditions d'écoulement en faisant varier la longueur de la fente, l'épaisseur du bouton, suivant l'axe ou sur le diamètre horizontal, de manière à modifier les frottements du fluide, en un mot, toutes les quantités qui influent sur la vitesse.

Tous les brûleurs précédents se font en fonte ou en stéatite, qui n'est autre qu'un silicate de magnésie infusible. La stéatite, quoique plus fragile, est préférable, car elle est mauvaise conductrice de la chaleur, de plus elle ne s'oxyde pas, d'où son entretien plus facile. Le nettoyage de ces becs, ou épinglage, consiste simplement à enlever les poussières qui obstruent les fentes ou les trous. Pour les rampes d'illuminations, on fait des brûleurs en bronze s'oxydant moins que la fonte. Ces becs se vissent directement sur le tube d'arrivée du gaz ; avec la stéatite, pour empêcher les fuites, on ajoute un peu de mastic de céruse ou de plâtre.

74. Becs à double courant d'air. — Les becs à double courant d'air sont constitués par une couronne cylindrique percée, à sa partie supérieure, d'une série de trous suffisamment rapprochés pour que tous les jets gazeux se réunissent et forment une seule nappe. Le gaz est amené à cette couronne au moyen de deux ou trois conduits partant d'un tronc commun. La flamme est entourée d'une cheminée

cylindrique en verre qui augmente sa fixité et active le tirage. L'air d'alimentation de la flamme arrive par la partie inférieure de l'appareil et se divise en deux courants, l'un intérieur pénétrant dans le cylindre, l'autre extérieur qui s'élève entre la flamme et la cheminée. L'action du courant d'air extérieur a été accrue par l'addition d'un cône métallique qui dirige l'air sur la flamme. De plus, la couronne est munie à sa partie inférieure d'un cône renversé, ou panier, percé de trous pour tamiser l'air et le doser en quelque sorte.

Le bon fonctionnement de ces brûleurs dépend du diamètre des trous, de leur nombre, de la distribution plus ou moins méthodique de l'air et, enfin, des dimensions de la cheminée.

Diamètre des trous. — Chaque trou joue le rôle d'un bec bougie; plus le diamètre est grand, meilleur est le rendement. Les diamètres les plus avantageux varient de 6/10 de millimètre à 8/10 pour les becs sans cône directeur, et de 10/10 à 15/10 pour ceux avec cône. Avec des dimensions de 6/10 à 8/10 de millimètre on obtient la carcel avec 105 litres de gaz. Le pouvoir éclairant croît avec la consommation, mais plus vite que celle-ci, jusqu'à une limite fixe au-delà de laquelle la flamme se met à fumer.

Nombre de trous. — Il doit être aussi grand que possible. Si les trous sont trop espacés, l'air pénètre entre deux jets, la combustion est trop active et le pouvoir éclairant diminue. C'est pour cette raison que le bec à 30 jets est supérieur de 25 0/0 à celui de 20. On est même arrivé, dans cet ordre d'idées, à n'avoir qu'une fente unique dont la largeur peut atteindre 1 millimètre, mais la flamme est trop molle, et l'emploi du cône directeur devient alors indispensable.

Distribution de l'air. — On ne devrait admettre que le strict nécessaire d'air; tout excédent, en s'échauffant en pure perte, diminue l'effet utile.

Mais il est difficile de fixer à l'avance les quantités à distribuer pour obtenir le maximum de lumière, car les chiffres

varient avec les consommations et les détails de construction du bec. D'ailleurs la flamme qui serait obtenue avec le dosage théorique serait extrêmement instable et dégagerait des fumées aux moindres augmentations de pression. En raison des difficultés inhérentes à la distribution de la quantité d'air indispensable pour réaliser le maximum de lumière, on est obligé d'en employer un léger excès.

Dans le brûleur primitif le panier était formé par une sorte de toile métallique entourant tout le bec; depuis, on a divisé le panier en deux parties alimentant respectivement chaque courant. La proportion admise dans chaque partie est fixée empiriquement. Avec un dosage établi sur ce principe, on arrive, comme dans le bec Elster, par exemple, à obtenir la carcel-heure avec 85 litres de gaz.

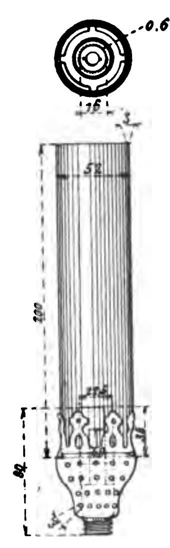


Fig. 75.
Bec Bengel.

Les paniers se font en cuivre à fentes longitudinales ou en porcelaine percée de trous. Le bec Bengel à trente trous, qui sert d'étalon, est établi avec un panier en porcelaine ; il n'y a pas de cône directeur, les trous ont 6/10 de millimètre, les autres dimensions sont indiquées sur la figure 75. Il donne la carcel avec 105 litres.

Quant au cône directeur dont l'emploi n'est pas général, il sert à diriger l'air sur la flamme et correspond au coude des cheminées en verre. Il achève la combustion, au détriment, il est vrai, du rendement lumineux qu'il réduit de 5 0/0 environ ; mais cette perte se trouve compensée par une plus grande régularité de la lumière.

Cheminée. — La cheminée augmente encore la combustion en activant le tirage qui est fonction de sa hauteur; il ne faut pas donner à cette dernière une grandeur exagérée, le chiffre de $0^{m},20$ est généralement adopté. Comme pour tous les modes d'éclairage, le diamètre doit être aussi faible que

possible, mais sa valeur est limitée par la dimension du brûleur et l'échauffement du verre. On a essayé, avec succès, de diminuer la section en étranglant le verre dans le haut ou en plaçant, à l'orifice de la cheminée, un obturateur constitué par une calotte hémisphérique d'un diamètre plus faible que celui de la cheminée (obturateur Lecat). Le prix plus élevé des cheminées étranglées a fait abandonner le premier système; quant au second, il entraîne trop fréquemment le bris du verre par la chute de l'obturateur.

Les becs ont d'abord été construits tout en métal; les tubulures amenant le gaz étaient en cuivre et la platine du brûleur en fer ou fonte. L'oxydation rapide du métal a fait rejeter ce système, qui s'échauffait beaucoup trop, au point de devenir incommode. Dans le brûleur *Monier* l'appareil était en cristal, de manière à ne pas absorber la lumière, mais on a dû l'abandonner à cause de sa fragilité.

Actuellement, les becs les plus employés ont la couronne en stéatite ou porcelaine; le panier se fait indifféremment en porcelaine, verre ou métal. Dans un modèle assez répandu, le bec *Albert* (*fig.* 76), le panier a été supprimé, l'air arrive directement à la flamme, condition défavorable à un bon rendement; le cône directeur a été conservé. Le gaz est amené à la couronne par trois branches en arc de cercle dégageant le courant intérieur. Les trous, au nombre de 40, mesurent 1 millimètre de diamètre. Comme complément de l'appareil, sur le tube d'arrivée du gaz se trouve un obturateur muni d'une tige de manœuvre assez longue, de manière à pouvoir mettre le brûleur en veilleuse. Souvent, au-dessus de la flamme on ajoute un disque qui rabat le courant d'air central et active encore la combustion.

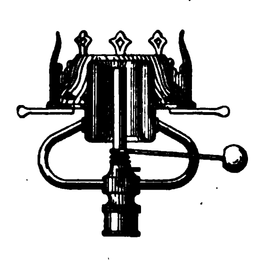


Fig. 76. — Bec Albert.

Les brûleurs à cheminée conviennent plus particulièrement pour l'éclairage intérieur. Leur lumière est très fixe et très régulière, bien qu'ils soient très sensibles aux variations de pression.

75. Rendement des brûleurs à air libre. — Le tableau suivant indique la consommation de ces appareils ramenée à l'unité de lumière.

NATURE DU BEC		CONSOMMATION HORAIRE	CONSOMMATION PAR BOUGIE DÉCIMALE	CONSOMMATION par CARCEL
		litres	litres	litres
Bec bougie.....	2mm,00	35	16	»
	1 ,50	45	22	»
Bec Manchester.	1 ,75	150 à 200	12 à 13	126
	1 ,50	100 à 150	15 à 14	137
	1 ,00	100 à 150	16 à 19	164
Bec papillon...	0 ,70	120 à 150	12	120
	0 ,60	120 à 140	12 à 13	125
	0 ,50	100 à 150	13 à 14	137
Bec rond......	32 jets	220	9, 6	92
	40 —	150 à 200	10	105
	30 —	100 à 155	10	106
(*Genre Bengel*).	20 —	100 à 155	13	126

Le bec à trente-deux jets est à quatre tubes d'amenée de gaz avec cheminée de 0m,25.

D'après ce tableau, les fortes consommations sont les plus avantageuses, mais on se trouve assez rapidement limité et on ne dépasse pas 450 litres; au dessus, il est préférable de recourir aux brûleurs intensifs spéciaux.

§ 2. — Bruleurs intensifs a air froid

76. Bec du Quatre-Septembre. — Pour lutter contre la puissance des foyers électriques, la première idée fut de grouper plusieurs becs ordinaires, et, après quelques essais, on arriva au brûleur dit du Quatre-Septembre, du nom de la rue parisienne où il fut appliqué tout d'abord.

Il est formé par le groupement, sur une couronne A de 0m,16 de diamètre, de six becs fendus n° 6 consommant 235 litres,

de manière à présenter le plan de la flamme tangentiellement à la circonférence (*fig.* 77). Deux coupes en cristal EE' entourent ces becs et divisent le courant d'air en deux parties comme dans un brûleur à cheminée ; on augmente ainsi la fixité de la flamme, et par suite le pouvoir éclairant. Pour préserver la première coupe de la chaleur rayonnante, on la munit intérieurement d'un cercle en mica D. Le gaz arrivant au centre est distribué par des conduites radiales aux papillons.

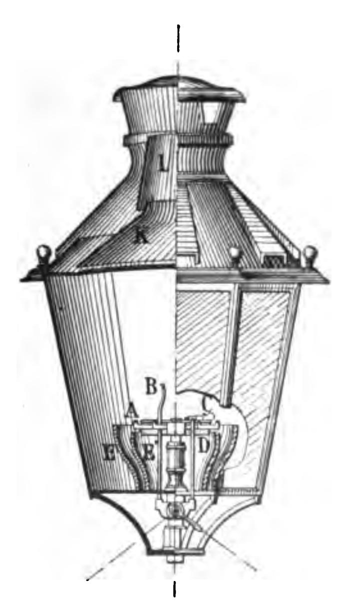


Fig. 77. — Brûleur du Quatre-Septembre.

L'appareil se complète d'une veilleuse C toujours allumée et qui sert, le soir, à enflammer les autres brûleurs. Pour réduire la dépense, les six papillons sont éteints, au moment où la circulation devient moins active et remplacés par un papillon ordinaire B, dit bec de minuit. La mise en service de ces divers brûleurs s'obtient facilement par la manœuvre d'un robinet à trois voies. Tout l'appareil est enfermé dans une lanterne tronconique, du type de la Ville de Paris. Dans le chapiteau, on place une cheminée en porcelaine K, dont la base, très évasée, sert de réflecteur ; elle est surmontée d'une partie en tôle ou en porcelaine L. Le chapiteau préserve le brûleur et sa cheminée contre la pluie et le vent.

Il y a deux types de brûleurs du Quatre-Septembre : l'un de 1.400 litres, et l'autre de 875. Le premier convient très bien pour l'éclairage public ; ses radiations lumineuses les plus intenses correspondent aux directions voisines de l'horizontale (*fig.* 78). Le brûleur de 875 litres est moins satisfaisant.

En raison des perfectionnements récemment apportés dans la construction des foyers d'éclairage au gaz, l'emploi

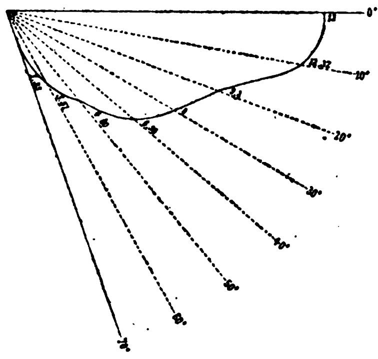


Fig. 78. — Courbe lumineuse du brûleur de 1400 litres.

des brûleurs du Quatre-Septembre n'est plus guère justifié que dans les localités où le gaz est peu coûteux.

77. Becs intensifs à double courant d'air. — En Angleterre, on a donné la préférence aux becs à double courant d'air ; le bec *Sugg* a été le type de ce genre de brûleur.

Au lieu de deux branches d'alimentation, comme dans les petits modèles, il y en a trois ou quatre distribuant le gaz à la couronne. Le panier a été supprimé. Une cheminée d'un fort diamètre, mais peu élevée, entoure la flamme. Avec un brûleur de 900 litres, on obtient, suivant l'horizontale, 11 à 12 carcels.

On a construit des becs Sugg à deux ou trois couronnes concentriques, de manière à réduire le volume du bec, tout en lui conservant son intensité. Le régime est le même que précédemment, l'absorption de lumière par les flammes concentriques étant insignifiante.

Les becs intensifs à air libre sont recommandables par leur grande simplicité ; par contre, ils sont peu économiques, et on tend à les remplacer par les brûleurs intensifs à air chaud.

§ 3. — Bruleurs a air chaud

78. Principe de la récupération. — Les corps combustibles ne s'enflamment qu'après avoir été portés à une certaine température; cette observation s'applique également au gaz d'éclairage. Dans ce cas particulier, la chaleur étant fournie par la flamme elle-même, il en résulte pour cette dernière un abaissement de température qui diminue d'autant le pouvoir éclairant.

L'intensité lumineuse étant fonction exponentielle du degré de chaleur, on a intérêt à éviter toute perte de calorique. C'est dans ce but qu'on a imaginé de chauffer, au préalable, l'air ou le gaz, ou les deux en même temps, au moyen des chaleurs perdues des produits de la combustion. Le chauffage du gaz seul n'a pas donné des résultats satisfaisants. On sait, en effet, que la combustion d'un volume de gaz, pour être complète, exige environ 6 volumes d'air. On élèvera donc plus fortement la température de la flamme en chauffant de préférence l'air au gaz. D'ailleurs, si on portait ce dernier à des températures élevées, on courrait le risque de décomposer les hydrocarbures les moins fixes, et le carbone, mis ainsi en liberté, se déposerait sous forme de suie, avant d'arriver à la flamme, encrassant les conduits ; en outre, le gaz aurait son pouvoir éclairant diminué.

Actuellement, l'air seul est soumis à un chauffage préalable. Des essais de M. Sainte-Claire Deville ont montré qu'il suffisait de le porter à 500° pour doubler le pouvoir éclairant d'une source lumineuse. Au dessus, cette intensité croît environ de 20 0/0 pour chaque élévation de température de 100°.

Le premier foyer conçu d'après le principe du chauffage préalable de l'air a été réalisé par Chaussenot, en 1836 ; l'appareil se composait d'un brûleur à couronne, genre Argand, entouré d'une double cheminée en verre; la cheminée intérieure était légèrement plus haute que la cheminée extérieure, celle-ci était de plus close dans le bas.

Ce dispositif avait un tirage suffisant pour permettre à l'air admis de la partie supérieure de circuler entre les cheminées et de s'échauffer considérablement avant d'alimenter le brûleur. Par ce moyen on réalisait, paraît-il, un accroissement lumineux de 33 0/0 sur les brûleurs à air froid.

79. Foyers Siemens. — En 1879, F. Siemens a imaginé un brûleur à récupération assez remarquable qui a été le point de départ des brûleurs à air chaud usités depuis.

Cet appareil se compose de trois chambres concentriques en fonte : la chambre A reçoit le gaz à l'arrivée

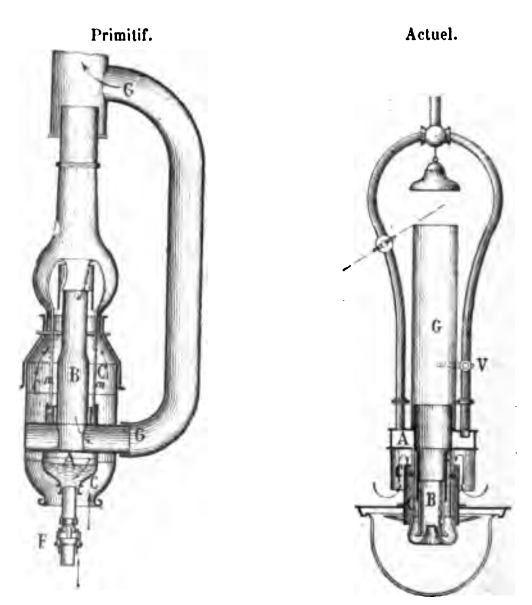


Fig. 79. — Foyers Siemens.

et le distribue dans une série de tubes verticaux *m* dont l'ensemble constitue le brûleur, la flamme produite à l'extrémité des tubes entoure une rondelle en porcelaine et, se renversant de haut en bas, se recourbe vers la chambre B, qui recueille les produits de la combustion. Ceux-ci, dont

la température atteint 600 à 700°, sont ensuite évacués par un tube latéral coudé G (*fig.* 79).

Quant à l'air comburant, il s'élève dans la chambre C, où il s'échauffe à 500° environ, au contact des parois intérieures portées au rouge par l'action même des produits de la combustion.

Enfin une cheminée en verre de forme ovoïde protège la flamme contre l'air extérieur et un rhéomètre F sert à assurer la constance du débit.

L'appareil Siemens, comme l'indique le tableau ci-dessous, a un excellent rendement lumineux :

NOMBRE DE TUBES du brûleur	CONSOMMATION HORAIRE	INTENSITÉ EN CARCELS	CONSOMMATION HORAIRE par carcel
15	300 litres	5 à 7	45 à 50 litres
18	600	13 à 15	40 à 45
28	800	20 à 22	38 à 40
32	1.600	46 à 48	33 à 35

Mais son esthétique peu satisfaisante et son entretien très onéreux font qu'il est très peu employé en France. En outre, malgré la lumière émise, l'éclairage laisse à désirer, une partie des radiations étant arrêtée par le récupérateur, en raison de sa disposition au-dessous de la flamme.

Siemens a modifié ce brûleur, de manière à lui donner la forme des appareils imaginés depuis. Le gaz arrive de haut en bas, débouchant dans une caisse A où il est distribué à une série de tubes *m* formant couronne. La flamme est aspirée dans la cheminée B prolongée par une partie en tôle G. L'air froid, pris à l'extérieur, descend en C le long des tubes du brûleur parallèlement au gaz et s'échauffe au contact des parois. La flamme est enfermée dans une coupe en verre ; un réflecteur renvoie la lumière sur le plan horizontal à éclairer. La consommation de ces brûleurs varie dans des limites comprises entre 320 et 1.245 litres ; il donne la carcel

avec 35 litres, chiffre très acceptable. L'allumage se fait au moyen d'une veilleuse V. Ce bec étant postérieur à ceux décrits ci-après, il est facile d'expliquer ses divers perfectionnements (*fig.* 79).

80. Lampes Wenham. — En vue de supprimer les inconvénients dus à la présence de la cheminée latérale, et à la position du récupérateur au-dessous du foyer, Wenham construisit, en 1882, une lampe à récupération à flamme renversée. Le modèle créé à cette époque a été depuis successivement amélioré. Dans le type actuel des lampes Wenham (*fig.* 80), qui est encore assez répandu pour l'éclairage intérieur, le gaz, amené de haut en bas par une tige D, est distribué horizontalement par un bouton en stéatite *a*, condition avantageuse pour obtenir une bonne combustion. Une cheminée en tôle H entourant le tube d'alimentation dirige la flamme renversée de l'intérieur vers l'extérieur.

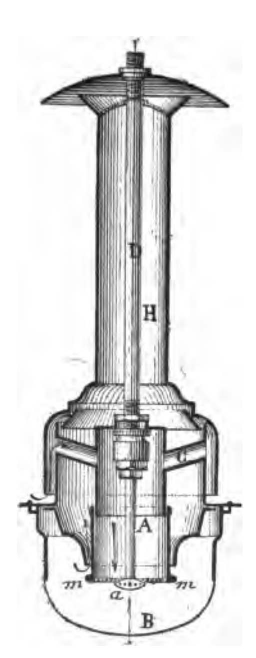


Fig. 80. — Lampe Wenham.

L'air arrive perpendiculairement au brûleur dans une chambre de combustion A, après avoir traversé une série de carneaux inclinés C disposés radialement autour de la chambre A. Cette dernière est fondue d'une seule pièce avec les conduits C, ce qui donne à l'appareil une très grande résistance. Le gaz de la combustion, avant de s'élever dans la cheminée H, chauffe par convection le récupérateur; une partie de cette chaleur est transmise de la même façon à l'air froid venant de l'extérieur. Pour empêcher toute combustion dans A, une toile métallique l'isole de la flamme; de même, une couronne en porcelaine *mm* préserve la fonte du récupérateur du contact immédiat de la flamme. Comme on

doit empêcher toute entrée directe d'air froid, la combustion a lieu à l'intérieur d'une verrine B retenue par un cercle en métal mobile autour d'une charnière horizontale. Le déplacement de cette verrine, pour l'allumage de l'appareil, est un inconvénient. Il est vrai qu'on supprime cet inconvénient par l'emploi de verrines perforées à leur partie basse et contenant une bille en verre qui, en s'appliquant sur le trou de la verrine, évite l'entrée de l'air frais. L'allumage se fait alors facilement en poussant la bille à l'intérieur au moyen de l'allumoir.

La lampe Wenham étant très sensible aux variations de pression, près du robinet de barrage placé tout en haut du tube d'arrivée du gaz on dispose un rhéomètre.

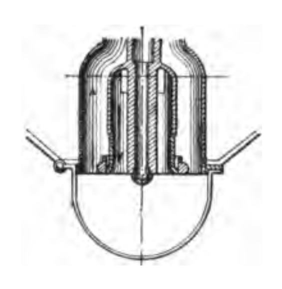
Le nettoyage de tout l'appareil est très facile; pour enlever du tube D le graphite qui ne tarde pas à se former par suite du chauffage du gaz, il suffit de dévisser le bouton *a* et de passer une tige rigide à l'intérieur.

Les dimensions de ce brûleur dépendent de la consommation, il y en a plusieurs séries désignées par des numéros correspondants depuis 140 litres jusqu'à 900. L'éclairage en dessous, que ne gêne aucune ombre portée est très avantageux à l'intérieur des habitations, en particulier pour les bureaux, étalages, salles à manger, c'est-à-dire toutes les fois que les points éclairés restent fixes. Par contre, il laisse les plafonds dans la plus grande obscurité. L'apparition de ce brûleur a fait comprendre l'obligation de prendre l'intensité lumineuse non plus sur l'horizontale où elle est la plus faible, mais dans toutes les directions. Le tableau ci-dessous donne l'intensité lumineuse d'une Wenham n° 3.

DIRECTION	INTENSITÉ	CONSOMMATION	
		TOTALE	PAR CARCEL
Horizontale	8carc,40	433l,0	51l,55
Oblique à 45°.....	10 ,80	433 ,0	40 ,09
Verticale.........	13 ,92	433 ,0	31 ,11

La lampe Wenham peut servir à la ventilation des pièces. On comprend aisément qu'en faisant déboucher la cheminée H à l'extérieur, il se fera un appel d'air énergique dans la salle. Pour que la ventilation soit efficace, il faut que les canaux d'écoulement aient sensiblement une section triple de celle de la cheminée.

La Compagnie Wenham a construit des appareils pouvant se substituer aux brûleurs ordinaires et donner, comme eux, une flamme en dessus. Dans la *Wenham Étoile*, le gaz arrive de bas en haut par un tube, ou chandelier, qui traverse la coupe. La cheminée et le récupérateur reposent sur un cercle soutenu par deux branches arrondies entourant la verrine. Le récupérateur est le même que précédemment avec ses conduits horizontaux. L'allumage se fait en enlevant à la main la cheminée et le récupérateur. Cette lampe, comme tous les appareils Wenham, a l'inconvénient de laisser les plafonds dans l'obscurité.



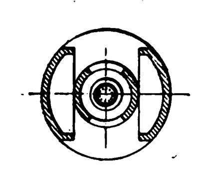


Fig. 81. — Lampe Cromartie.

81. Dérivés de la lampe Wenham. — La lampe Wenham a été le point de départ d'un grand nombre d'appareils identiques. Dans quelques-uns, les conduits du récupérateur, au lieu d'être horizontaux, sont verticaux (bec Cromartie, *fig.* 81) de manière à avoir une surface de récupĕration plus consirable. D'autres ont descendu le brûleur assez bas, de façon à diminuer l'ombre portée sur les plafonds. Des améliorations ont été apportées en même temps à l'allumage, en rendant la coupe très mobile (Bandsept), ou en la munissant d'une bille à la partie inférieure (Sée-Vouthers).

Lampe Rouennaise. — Dans la lampe Rouennaise de MM. Grégoire et Godde, le récupérateur en fonte est d'un seul mor-

ceau; le brûleur est constitué par un bouton creux en stéatite. Il se visse à l'extrémité d'un tube en fer servant de suspension, garni à l'intérieur d'un tube en verre dans lequel passe le gaz; on évite ainsi l'oxydation de la fonte et, par suite, l'obstruction du brûleur.

Foyers Danischewski. — Dans le bec Danischewski le gaz arrive de bas en haut par un tube dont l'orifice est terminé par un cylindre creux en stéatite. La veine fluide vient s'aplatir contre la section plane d'une tige métallique entourée d'une collerette en terre réfractaire qui force la

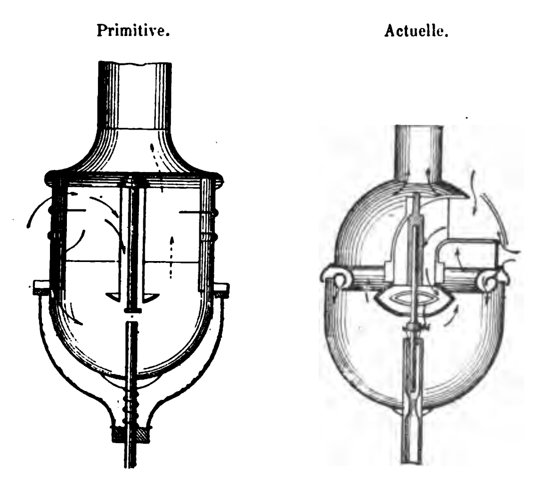


Fig. 82. — Lampes Danischewski.

flamme à s'épanouir horizontalement. Quant aux récupérateurs, il y en a de deux formes différentes. Dans le système primitif, le récupérateur en cuivre est disposé en étoile à neuf rayons. L'air froid, passant par les diverses branches de l'étoile, débouche dans une chambre centrale, puis dans la coupe. Les produits de la combustion circulent tout autour, abandonnant leur chaleur aux divers rayons du récupérateur. Le tirage est augmenté au moyen d'une

cheminée en verre. Le récupérateur est supporté par un cercle relié par trois tiges métalliques au chandelier du bec; la verrine, au contraire, est soutenue par un ressort s'appuyant sur une surépaisseur du chandelier (*fig.* 82).

Dans le modèle nouveau le récupérateur a beaucoup perdu de son importance, il se réduit à une seule des branches de l'étoile précédente, mais avec une section en conséquence. Au-dessus du bec, un obturateur en terre réfractaire sert à épanouir la flamme; tout autour de la coupe est ménagé un bourrelet en nickel enroulé en spirale et percé de trous vers le bas, par où arrive une partie de l'air comburant. Les gaz chauds circulent entre ces deux conduites qui constituent le récupérateur et débouchent dans la cheminée. Toute l'enveloppe du récupérateur est en verre, permettant ainsi l'éclairage des plafonds. Avec ce brûleur, la récupération est moins énergique qu'avec le précédent, aussi le rendement lumineux est-il moins élevé.

Le tableau ci-dessous résume quelques essais photométriques effectués à l'Exposition de 1889 sur quelques types de lampes précédemment décrits; ils montrent que l'économie réalisée sur les brûleurs à air libre est de 25 0/0 au plus.

DÉSIGNATION DES BRULEURS	DÉPENSE HORAIRE	INTENSITÉ MAXIMA	INTENSITÉ SPHÉRIQUE MOYENNE	CONSOMMATION PAR CARCEL pour l'intensité sphérique	INCLINAISON DU RAYON le plus intense
Bengel photométrique...	105l,00	1c,165	0c,945	111l,00	15°,00
Wenham Etoile.........	166 ,00	3 ,007	1 ,590	100 ,00	30 ,00
Cromartie, petit modèle .	88 ,00	1 ,53	0 ,84	103 ,00	45 ,00
— moyen modèle.	126 ,00	2 ,594	1 ,50	80 ,00	60 ,00
Lampe Bandsept........	120 ,00	1 ,638	1 ,11	108 ,00	30 ,00
Danischewski nouveau..	162 ,00	2 ,715	1 ,75	92 ,00	45 ,00
— ancien.....	179 ,00	3 ,028	2 ,15	83 ,00	45 ,00
Lebrun-Deselle.........	155 ,00	2 ,733	1 ,48	104 ,00	60 ,00

82. Foyer Parisien. — Les lampes du type Wenham et similaires qui viennent d'être décrites conviennent plus particulièrement à l'éclairage des locaux fermés, car la lumière

qu'elles fournissent a son intensité maxima dans une direction voisine de la verticale. Pour l'éclairage public, il convient que les radiations les plus intenses soient, au contraire, voisines de l'horizontale, afin d'assurer l'éclairement sensiblement uniforme de l'intervalle compris entre deux foyers. Il faut, en outre, que les appareils destinés à l'éclairage de la voie publique satisfassent à certaines conditions ; ils doivent notamment être d'une construction robuste, permettant aux organes de supporter sans déformation les effets d'un régime de fonctionnement très étendu, être insensibles à l'action des vents les plus violents et, enfin, être d'un entretien peu onéreux.

Le premier appareil, remplissant les desiderata ci-dessus, a été le foyer construit par Schülke de Vienne, en 1882. Dans le modèle primitif, le gaz était distribué de haut en bas à cinq ou six papillons groupés sur un même cercle. Une cheminée en tôle plissée entourait le tube de descente, autour de cette cheminée était disposé un deuxième cylindre; l'air circulant entre les deux cheminées s'échauffait au contact des plis de la première, dans laquelle s'échappaient les produits de la combustion. Cette dernière s'opérait dans une coupe en verre qui entourait les papillons. Pour ne pas toucher à la coupe à l'allumage, attendu que tout l'appareil était enfermé dans une lanterne, M. Schülke avait disposé à l'intérieur une veilleuse constamment allumée et alimentée par un conduit spécial.

C'est de cet appareil lourd et volumineux qu'a été tiré le foyer « Parisien » actuel, créé en 1886 et mis à l'essai pour la première fois à Paris en 1888. L'arrivée du gaz a lieu de bas en haut, aux becs papillons en stéatite disposés en cercle, sur un chandelier ordinaire autour d'un bec de minuit. Les flammes sont inclinées sur la circonférence de manière à empêcher qu'elles se touchent et, par suite, qu'elles filent. L'ensemble de ces brûleurs est enfermé dans une coupe en verre cylindrosphérique (*fig.* 83). Quant au récupérateur, il est formé par une cheminée en nickel B, tronconique et plissée, dont l'intérieur est occupé par un obturateur C également en nickel qui rejette les gaz de la combustion contre les parois de B. Ce récupérateur, protégé par une

enveloppe en amiante F, se trouve prolongé par une cheminée A. Deux séries d'ouvertures sont ménagées pour l'alimentation d'air froid dont une partie va aux papillons, en

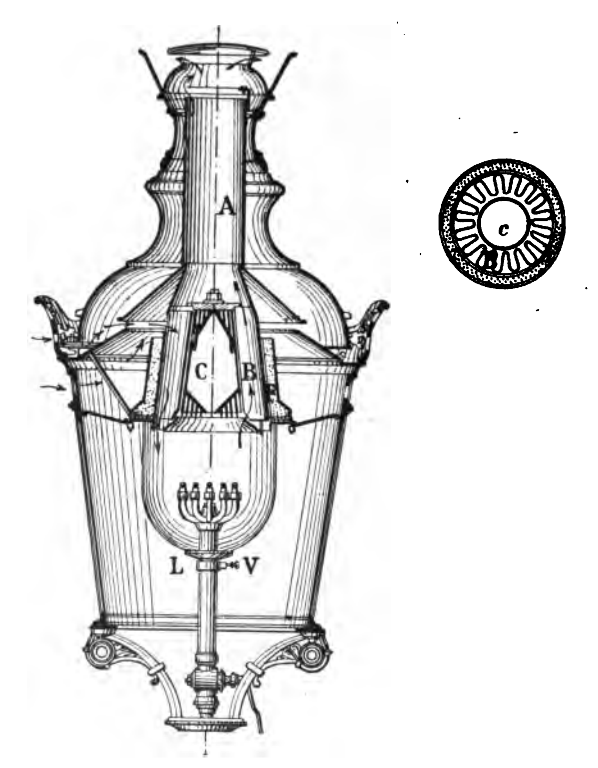


Fig. 83. — Foyer Parisien.

s'échauffant le long du récupérateur, et l'autre est aspirée dans la cheminée.

On évalue à 500° la température de l'air chaud. Tout l'appareil est enfermé dans une lanterne ronde à chapiteau élevé avec les orifices nécessaires pour l'introduction de l'air et la sortie des gaz brûlés.

Outre le bec de minuit, il y a une veilleuse servant à l'allumage. Comme dans le bec du Quatre-Septembre, suivant la position donnée à la clef, on met en service la veilleuse, les papillons ou le bec de minuit.

La visite intérieure de la lampe doit pouvoir se faire assez fréquemment, soit pour remplacer l'obturateur, soit pour épingler les papillons. Dans ce but on descend la verrine qui coulisse au moyen d'une garniture L le long du chandelier; elle est maintenue par une vis V; de l'amiante rend le joint étanche.

L'importance du foyer dépend du nombre des papillons employés, mais les fortes consommations sont encore les plus avantageuses comme l'indique le tableau suivant:

DÉBIT HORAIRE EN LITRES	INTENSITÉ HORIZONTALE	DÉPENSE PAR CARCEL-HEURE
225	2c,4	93l,0
350	5 ,43	64 ,9
550	9 ,45	59 ,1
750	14 ,76	53 ,05
1.000	19 ,41	51 ,05

83. Foyer Industriel. — Dans cet appareil, créé en 1888 par MM. Lacaze et Cordier, le récupérateur est formé par deux cylindres concentriques verticaux reliés par des tubes horizontaux disposés en étoiles superposées les unes au-dessus des autres et groupées de façon à croiser leurs rayons d'une rangée à l'autre. Les gaz de la combustion circulent à l'intérieur de ces conduits avant de se rendre à la cheminée; l'air, au contraire, passe tout autour, s'échauffant par convection. Tout l'appareil est enfermé dans une lanterne ordinaire. Des prises d'air sont ménagées sur le corps de cette dernière et sur le chapiteau; au lieu d'arriver directement au récupérateur, l'air circule autour d'une enveloppe en cuivre. Comme dans le bec Parisien, à l'intérieur de la lanterne, on dispose un diaphragme servant de réflecteur. Dans

le dernier modèle, le bec de minuit et la veilleuse ne font plus qu'un, et la différence de flammes s'obtient au moyen de deux vis de réglage placées au-dessus du robinet (*fig.* 84).

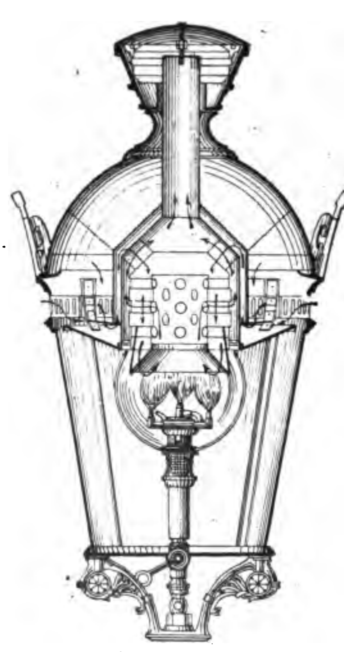


Fig. 84. — Foyer industriel.

Le bec Industriel comprend des types du débit horaire de 350, 430, 550, 750, 1.000 et 1.200 litres. Au point de vue du rendement, les résultats sont identiques à ceux du foyer Parisien. Le foyer de 1.200 litres donne 25 carcels.

Le foyer Industriel a été aménagé de manière à pouvoir servir également à l'éclairage intérieur; dans ce modèle spécial, la lanterne a été supprimée et remplacée par un réflecteur.

84. Dérivés des foyers Parisien et Industriel. — Il existe un assez grand nombre d'autres foyers basés sur le même principe et différant des précédents par la disposition du récupérateur.

Dans le foyer *Moderne* il est constitué par une série de tubes ovoïdes recevant l'air à réchauffer; autour d'eux circulent les produits de la combustion.

Celui du foyer *Mortimer-Sterling* est formé (*fig.* 85) par un cylindre vertical muni d'ailettes radiales faisant saillie des deux côtés; les produits de la combustion circulent à l'intérieur du cylindre, portant au rouge les lames correspondantes. Par conductibilité, la chaleur se propage aux lames extérieures et réchauffe l'air comburant. Le récupéra-

teur est en nickel sans soudure, ce qui augmente sa résistance et rend son entretien peu onéreux.

Ce foyer est construit pour des débits de 140, 260, 430, 550,

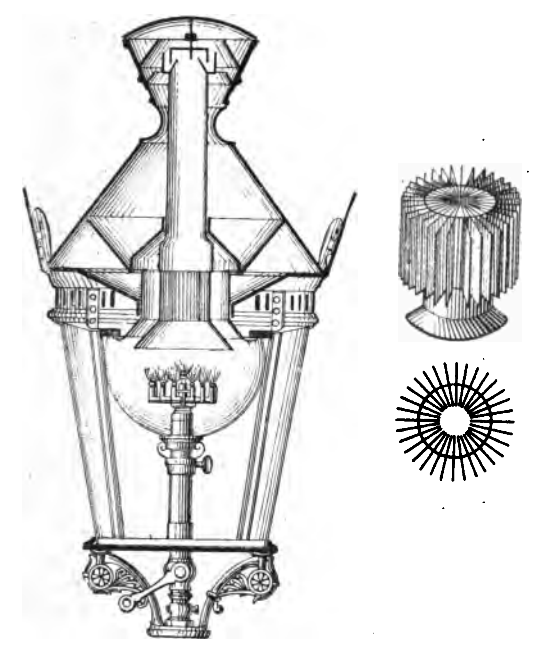


Fig. 85. — Foyer Mortimer.

1.000 et 1.200 litres. Son rendement lumineux est le même que celui des appareils précédents.

Foyer Guibout. — Dans le bec Guibout, ou bec Phénix, le récupérateur est constitué par une coupe hémisphérique en terre réfractaire placée à l'intérieur d'une cheminée tronconique de même substance. Cette cheminée est à son tour entourée d'une enveloppe métallique (*fig.* 86). Les produits de la combustion se dégagent entre la coupe et le tronc de cône. Quant à l'air comburant, il pénètre dans la verrine après

s'être engagé dans l'enceinte métallique où il s'échauffe au contact des parois du récupérateur. Ces brûleurs sont montés sur un chandelier analogue à celui du foyer du Quatre-Septembre.



Fig. 86. — Bec Guibout.

Le foyer Guibout, en raison de la simplicité de sa construction, est peu coûteux; mais son rendement est relativement faible.

Foyer Delmas. — Le brûleur est un simple papillon entouré d'une coupe aplatie ayant la forme de la flamme. La coupe est surmontée d'une cheminée à double compartiment pour le chauffage de l'air. Les gaz chauds de la combustion s'échappent directement par le cylindre intérieur. Tout récemment, M. Delmas a imaginé un appareil, à deux ou trois papillons, basé sur le même principe. Il est tout en cristal d'un aspect assez satisfaisant, mais il est trop fragile, et son allumage au moyen d'une veilleuse ou électriquement est assez coûteux. Il y a deux modèles de cet appareil, débitant respectivement 85 et 140 litres à l'heure; ils donnent la carcel-heure pour 85 litres de gaz environ.

Foyer Mantrant. — Dans cet appareil, à flamme en dessous (*fig.* 87), le récupérateur forme une sorte de roue dont les rais et le moyeu sont creux. Il est disposé horizontalement au-dessus du brûleur. L'air froid arrive par la partie supérieure de la lanterne, s'introduit à l'intérieur des rais J par des ouvertures débouchant sur la jante de la roue et s'échauffe à son passage dans ces divers canaux; l'air débité

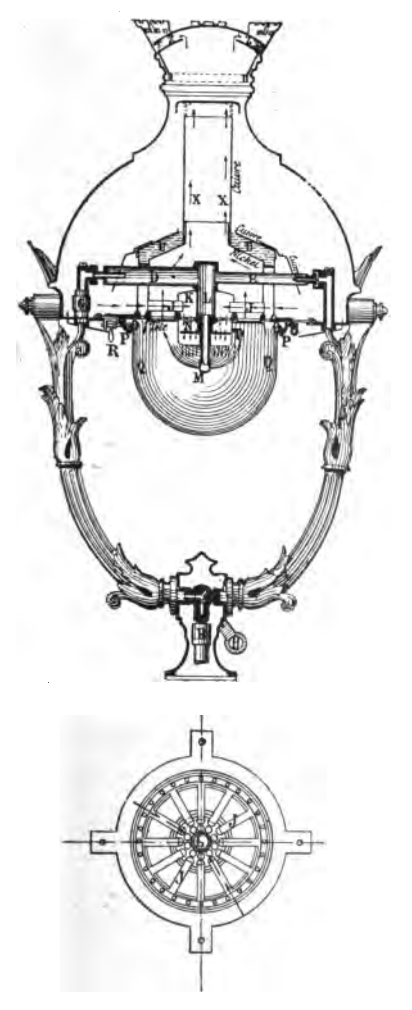


Fig. 87. — Foyer Mantrant.

par les rais s'accumule dans une chambre centrale K, — le moyeu de la roue, — d'où il se rend vers le brûleur M, en traversant successivement trois crépines destinées à le tamiser et à l'épanouir autour du brûleur.

L'échappement des produits de la combustion est réalisé très simplement; ceux-ci, en sortant de la verrine Q où s'opère la combustion, traversent une crépine en tôle émaillée intercalée entre le récupérateur et la partie supérieure de cette verrine; ils se rendent ensuite dans la cheminée centrale d'évacuation X, en traversant les intervalles séparant les rais du récupérateur.

Le gaz d'alimentation est dirigé dans l'une des branches de la lyre supportant le foyer; après avoir parcouru cette branche, il entre dans un rhéomètre G disposé à la partie inférieure de la calotte de la lyre, puis est amené au brûleur par un tube vertical L traversant la chambre à air chaud et les diverses crépines. Malgré cet échauffement préalable du gaz, il ne paraît pas y avoir décomposition, du moins dans les appareils de faible débit.

Le brûleur du foyer Mantrant est constitué par un bouton en bronze perforé latéralement de trous dont le nombre et la section sont en rapport avec la consommation.

La flamme de ce brûleur a une forme hémisphérique, elle est renfermée dans une coupe maintenue contre le récupérateur par un cercle en cuivre à joint d'amiante P. Cette coupe peut osciller autour d'un axe horizontal R pour la visite de l'appareil.

L'allumage du foyer Mantrant est réalisé par une veilleuse, dont l'alimentation est assurée par la deuxième branche E de la lyre.

En raison de l'échauffement du conduit d'amenée du gaz aux brûleurs, le débit du foyer Mantrant s'abaisse notablement après quelques minutes de fonctionnement. Des expériences faites sur un foyer de 250 litres ont montré que la diminution du débit atteignait 12 0/0 après une heure de durée. Il y a donc lieu de tenir compte de ce phénomène pour le calibrage des rhéomètres correspondant à chaque type de foyer.

M. Mantrant construit son appareil pour des consommations

variant de 250 à 1.200 litres. Le type de 250 litres correspond à un rhéomètre timbré à 285 litres à froid ; il a été appliqué à Paris, en 1895, dans l'avenue Victoria et la rue de Castiglione.

Le tableau ci-dessous résume quelques essais photométriques effectués sur le foyer Mantrant.

DIRECTION HORIZONTALE		30° AVEC L'HORIZONTALE		45° AVEC L'HORIZONTALE		60° AVEC L'HORIZONTALE	
CONSOMMATION constatée	INTENSITÉ en carcels	CONSOMMATION constatée	INTENSITÉ en carcels	CONSOMMATION constatée	INTENSITÉ en carcels	CONSOMMATION constatée	INTENSITÉ en carcels
348^{l},0 348 ,0	6^{c},15 5 ,86	348^{l},5	7^{c},14	348^{l},5	8^{c},20	351^{l},4	7^{c},18
258 ,0	3 ,92	252 ,8 266 ,7	4 ,54 4 ,79	2[illegible]4 ,7	5 ,20	262 ,5	4 ,93
227 ,0	2 ,97	230 ,5	3 ,49	231 ,0	3 ,69	229 ,5	3 ,52

L'examen du tableau montre que les radiations d'intensité maxima sont comprises entre 45 et 60°. Au point de vue de l'uniformité de l'éclairement sur le sol, il conviendrait qu'elles fussent plus voisines de l'horizontale. On pourrait sans doute réaliser ce désidératum en substituant à la verrine en cristal clair un globe diffuseur dont les cannelures seraient spécialement étudiées dans ce but.

§ 4. — Bruleurs a incandescence

85. Principe de l'incandescence. — Quand on brûle du gaz, si on évite la présence des particules de carbone dans la flamme, en faisant pénétrer l'air en tous ses points, le pouvoir lumineux se trouve diminué, et, de jaune qu'elle était, la flamme devient bleue, presque incolore; par contre, elle est très chaude et l'énergie de la combustion est presque transformée tout entière en chaleur. C'est ce qui se passe avec le brûleur Bunsen. Si on place alors un corps solide

dans cette flamme, il se trouvera fortement chauffé et pourra émettre des radiations lumineuses dont la couleur et l'intensité dépendront de la nature du corps, de son degré de température et du milieu qui l'entoure : c'est le principe de l'éclairage par incandescence.

Le mélange d'air et de gaz peut se faire de différentes manières ; mais, lorsqu'il est obtenu d'une façon très intime, dans des proportions rationnellement déterminées, on arrive à un rendement calorifique très élevé.

La température, à laquelle les corps commencent à émettre des radiations lumineuses, dépend de leur nature, mais il faut atteindre au moins 4 à 500° ; au dessus l'intensité de ces radiations est fonction exponentielle de l'augmentation de température ; toutefois, arrivée à un certain degré, l'émission reste sensiblement constante. C'est ainsi qu'à 1.500° on obtient le blanc éblouissant, et qu'à 2.000° apparaissent les radiations chimiques qui ne concourent plus à l'éclairage.

La couleur varie, non seulement avec la composition du corps, mais encore avec celle du milieu qui l'entoure. Un noyau solide, opaque et non volatil environné de vapeurs incandescentes donnera une lumière modifiée par la présence de ces dernières. Dans ces conditions il sera donc possible de corriger la lumière propre d'un noyau par l'addition appropriée de substances volatiles.

86. Substances employées à la production de l'incandescence. – Le nombre des substances pouvant servir à l'éclairage par incandescence est assez considérable. On a d'abord employé les métaux, le platine iridié en particulier (bec *Sellon*) ; mais, au bout de fort peu de temps, l'alliage perdait toutes ses qualités ; on a dû y renoncer et recourir aux oxydes infusibles. Tout d'abord, la chaux a été essayée, mais elle nécessite une température élevée qui n'est réalisable que par la combustion directe du gaz par l'oxygène (lumière *Drummond*). Avec la magnésie (bec *Clamond*), les résultats ont été meilleurs, mais encore insuffisants.

Le problème de l'éclairage par incandescence n'a été résolu effectivement que le jour où le docteur *Auer von Welsbach* a trouvé un mélange d'oxydes infusibles très

résistants, sans exiger une température excessive. Les oxydes les plus employés sont ceux de *thorium*, de *cérium*, *lanthane* et de *didyme*. On les rencontre, dans la nature, sous forme de sels contenus dans des minerais ou des sables. Ces substances, rares au début, sont devenues, à la suite de nombreuses recherches, de plus en plus communes.

La matière première du thorium est la *thorite* (silicate de thorium) que l'on trouve en Norvège à l'état de minéral cristallisé dans le système cubique. Sa couleur est brune ou noire, sa densité varie de 4,8 à 5,6. Une variété, l'*orangite*, renferme jusqu'à 72 0/0 d'oxyde de thorium, mais la teneur du minerai ordinaire n'est que de 55 à 60 0/0. Chauffée légèrement à l'acide sulfurique, la thorite donne un sulfate soluble mélangé à d'autres sulfates. Ces derniers sont précipités à froid par l'acide sulfhydrique. La lessive, faite à l'eau froide, est ensuite chauffée légèrement. Le sulfate de thorium précipite à 45° sous forme de flocons blancs qu'il suffit de calciner ensuite pour avoir l'oxyde. Si on voulait avoir de l'oxyde soluble dans les acides, ce qui n'est pas possible avec la préparation précédente, il faudrait remplacer l'acide sulfurique par de l'acide oxalique.

Ce corps, ainsi préparé, se présente sous la forme d'une poudre blanche irréductible par le carbone, pesant 9,22 à 9,42.

La seconde substance qui fournit des oxydes est la *monazite* que l'on trouve aux États-Unis, au Brésil et en Australie. C'est un phosphate renfermant 2 à 4 0/0 de phosphate de lanthane, de cérium et de thorium. Il se présente sous la forme de petits cristaux monocliniques d'une densité de 4,9 à 5,3. On les rencontre mélangés à du sable, quelquefois en morceaux suffisamment gros pour être retirés à la main. Le traitement de ces sables est analogue à celui de l'or ; ce qui reste au fond des caisses constitue la monazite. La fabrication de l'oxyde est plus difficile que celle de la thorite, et donne à peine 2,5 à 5 0/0 de thorium.

Deux silicates, l'*alunite* et l'*orthite*, donnent encore des oxydes de cérium, lanthane et didyme. Il suffit de les traiter par l'acide sulfurique pour obtenir des sulfates qui précipitent par l'acide oxalique. Ces oxalates, calcinés à leur

tour, fournissent des oxydes ou des nitrates suivant les besoins.

Tous ces oxydes sont généralement mélangés, mais on peut les séparer par cristallisation fractionnée, en employant le procédé délicat du docteur Auer.

87. Fabrication des manchons. — Les oxydes précédents doivent être déposés sur des manchons de forme tronconique en une couche peu épaisse, de manière à avoir une surface assez grande sous un faible volume. Le principe consiste à prendre un manchon en cellulose qu'on trempe dans un liquide saturé d'azotates des corps précédents ; il suffira ensuite de soumettre le manchon à la chaleur pour détruire la matière organique, décomposer les sels en oxydes et ne laisser qu'une carcasse suffisamment résistante à la flamme.

Les manchons se font en coton ou fil tissé, dont les numéros sont compris entre 70 et 80, et ayant 80 mailles à la circonférence. Après un lavage à l'ammoniaque, à l'acide chlorhydrique et finalement à l'eau distillée, on les trempe dans une dissolution d'azotates correspondant à 108 grammes d'oxydes. Avec 1 litre, contenant 225 grammes d'azotates, on fait 190 à 200 manchons ; il faut 4 grammes de liquide par manchon. Tout d'abord, on les met égoutter sur des fils de nickel parfaitement propres ; puis on les passe à l'essoreuse formée par deux cylindres concentriques recouverts de caoutchouc. Le cylindre extérieur est seul mobile, il sert à recueillir le liquide. Finalement, on met le manchon sécher dans une étuve à 50 ou 60°. Il est alors parfaitement tendu sur un cylindre de bois, le sommet ourlé est enduit au pinceau d'une couche de *fixine* (nitrate de magnésie), qui lui donne de la résistance. Pour pouvoir être fixé à la potence, l'ourlet est traversé d'un fil d'amiante ; le mode d'attache varie, du reste, avec chaque fabricant.

L'incinération, qui dure huit à dix minutes, se fait au moyen d'un bec Bunsen bien réglé. La forme en pain de sucre du manchon s'obtient en faisant tournoyer la flamme à l'intérieur, les creux disparaissent complètement. Le manchon est encore mou ; pour lui donner la solidité nécessaire, on le cuit à la flamme jaune, il suffit de surveiller cette

opération, qui dure une heure à une heure et demie. On a imaginé des incinérateurs particuliers, ne nécessitant plus la présence d'ouvriers spéciaux.

Avant d'être livrés au commerce, les manchons sont enduits de collodion, qui les préserve de la poussière et leur donne une consistance permettant les manipulations de l'emballage. Ce bain est préparé à raison de 5 0/0 d'huile de ricin. Au moment de la mise en service, cette enveloppe est détruite par un simple flambage. La durée des manchons et leur pouvoir éclairant sont très variables: pour quelques-uns, au bout de 800 à 1.000 heures, l'intensité lumineuse peut être descendue au tiers. Ils sont très fragiles, d'où l'obligation de les manipuler délicatement. Un manchon pèse 5 à $5^{gr},5$; sa hauteur habituelle est de 70 millimètres environ sur 15 à 20 millimètres de diamètre.

88. **Bec Auer.** — Ce bec se compose d'un Bunsen pouvant se fixer sur tous les raccords existants (*fig.* 88). L'arrivée du gaz se fait par un dé A à 3 ou 5 trous, suivant l'importance du brûleur ; il est vissé à la partie inférieure d'une cheminée B ou chandelle de 100 millimètres de haut sur 9 à 11 millimètres de diamètre. L'air pénètre par des trous O ménagés dans le bas de cette cheminée, et le mélange avec le gaz a lieu à l'intérieur. La quantité d'air admise, qui doit être sept à huit fois celle du gaz, dépend de la dimension des trous et de leur position, par rapport au jet gazeux. Ce qu'il faut surtout éviter, ce sont les courants d'air pouvant provoquer des fluctuations de la flamme. A cet effet, le gaz doit s'échapper au-dessus des trous, ou bien encore on établit des chicanes empêchant l'air de le frapper directement. Au haut de la cheminée se trouve un collet destiné à débiter le mélange enflammé, sous forme d'une couronne de 15 à 18 millimètres de diamètre. Ce collet est recouvert d'une toile métallique empêchant tout retour de flamme dans la cheminée, et favorisant en même temps le mélange.

Le brûleur se complète d'une galerie D recevant la cheminée en verre et la potence qui soutient le manchon par l'intermédiaire d'une vis de serrage L. Enfin une rondelle F

empêche le gaz de prendre feu aux trous de la cheminée O, au moment de l'allumage.

Il est bon d'adapter au bec Auer un régulateur de pression. Dans le cas d'une pression de 40 millimètres, pour 1 millimètre en plus ou en moins, le débit varie de $1^{lit},5$; pour une

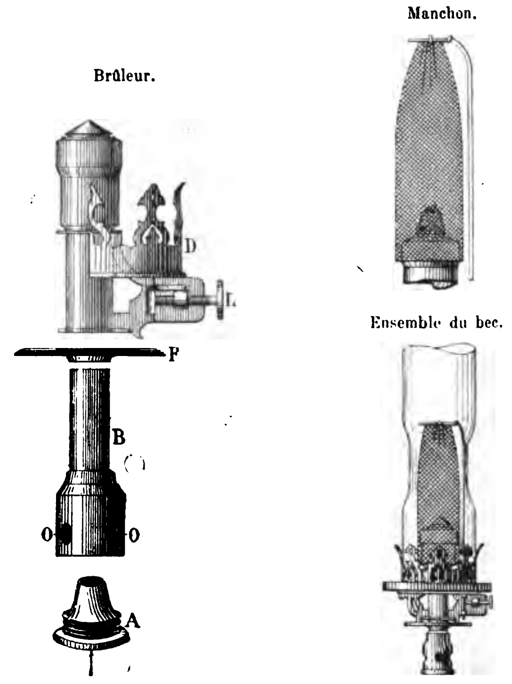


Fig. 88. — Bec Auer.

pression de 20 millimètres, la variation atteint $2^{lit},5$. Lorsqu'on n'emploie pas de régulateur, le réglage se fait en modifiant la grandeur des trous du dé, mais il faut procéder avec beaucoup de précaution. On réalise la combustion complète, en admettant la quantité d'air exactement nécessaire : ce résultat s'obtient soit en faisant varier la position des trous, par rapport au jet de gaz, soit en modifiant leur diamètre. Dans le premier cas il suffit d'élever plus ou moins

la cheminée; pour le second il faut entourer la partie inférieure de la cheminée d'une virole mobile percée de trous et susceptible de former registre. La valeur calorifique de la flamme se mesure en promenant, au bout d'une tige en nickel, une parcelle de charbon qui prend des teintes plus ou moins brillantes, selon qu'on est dans la partie chaude de la flamme (couleur violacée) ou dans la partie froide (bleu clair).

La Société française d'Incandescence par le gaz construit cinq types de becs Auer : le type BB et les types 0, 1, 2 et 3. Ces appareils débitent respectivement, par heure, 40, 50, 85, 115 et 150 litres; ils fournissent la carcel-heure moyennant 15 à 18 litres de gaz. Le type BB, récemment créé, est d'un excellent rendement ; il donne 3^{carc},2 pour une consommation de 39^{lit},4 de gaz, sous une pression de 40 millimètres d'eau. Cet appareil convient particulièrement pour l'éclairage intérieur. Le type n° 3, de construction récente également, fournit, avec 158 litres de gaz sous 40 millimètres de pression, une intensité de 13 carcels, suivant l'horizontale.

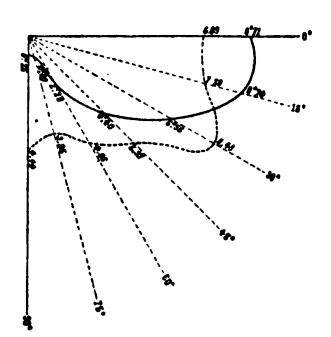


Fig. 89. — Courbes photométriques d'un bec Auer n° 2 avec ou sans globe holophane.

La figure 89 représente la courbe photométrique d'un bec type n° 2 du débit de 115 litres. On peut remarquer par la forme de ce graphique que l'appareil est très avantageux pour l'éclairement de la voie publique.

Il convient d'ajouter que l'intensité lumineuse des becs Auer est extrêmement variable d'un appareil à l'autre, suivant la constitution des manchons; ceux-ci n'ont pas toujours une homogénéité parfaite, et on observe parfois des écarts de 30 0/0 dans les intensités.

89. Dérivés du bec Auer. — *Bec Oberlé* (*fig.* 90). — Un grand nombre de brûleurs à incandescence ont pris naissance à

la suite du succès du bec Auer, mais tous ne présentent pas le même intérêt. Citons tout d'abord le bec Oberlé. Dans cet appareil le manchon, au lieu d'être supporté par une simple tige, est soutenu par une sorte d'arcade ; sa base est protégée





Fig. 90. — Bec Oberlé.

par une petite galerie qui lui donne un aspect plus régulier. Le dé est remplacé par un méplat, muni d'un pointeau s'engageant dans l'ajutage conique par où s'échappe le gaz; l'assemblage de ces deux pièces est maintenu par une vis; on règle au moyen du pointeau le débit du Bunsen. La chandelle très courte étant montée à frottement doux sur l'ajutage, il suffit de la tourner plus ou moins, pour qu'au moyen d'une virole de réglage on fasse varier l'admission de l'air.

Dans le bec *Diamant*, la tête du bec est en stéatite qui absorbe moins de chaleur que le cuivre; tout le calorique est alors utilisé dans le manchon.

Héliogène. — Ce foyer comporte deux parties distinctes (*fig*. 91) : le *brûleur* et la *plume*. Le premier se compose de becs Manchester en stéatite donnant une nappe très mince et, par suite, la combustion parfaite sans l'adjonction d'une cheminée de tirage. La plume est formée par des fils noués sur une âme métallique infusible; ils sont tous indépendants les uns des autres. L'âme métallique est raccordée à un support en nickel relié à une bague en cuivre que l'on

monte sur les brûleurs. On peut disposer ces derniers dans des lampes à récupération, en les substituant au bouton du

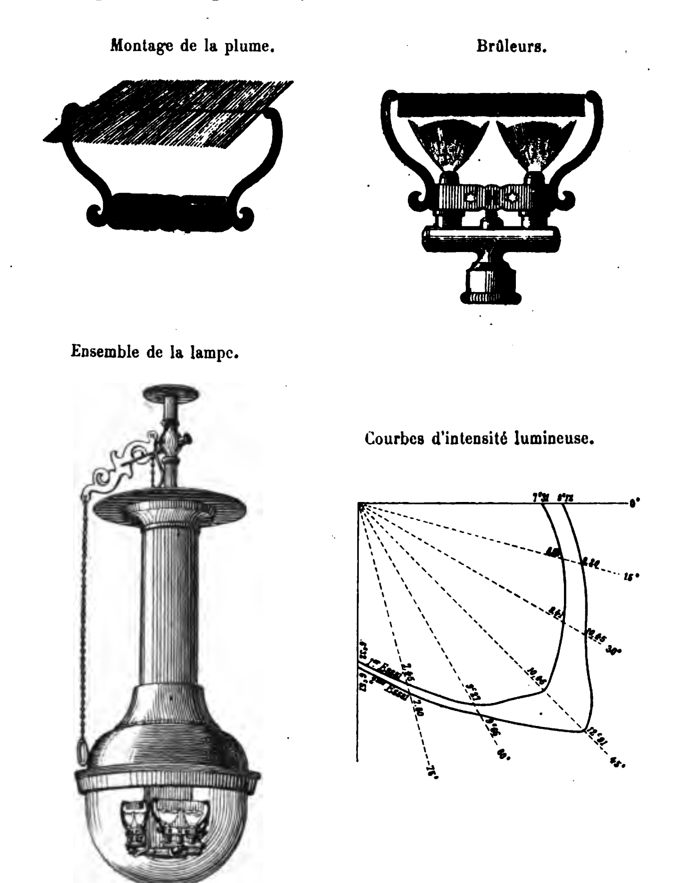


Fig. 91. — Héliogène.

bec Wenham, par exemple. Par suite de l'inclinaison de la plume, on obtient sur le sol un éclairage très satisfaisant. Les courbes de la figure donnent le résultat de deux essais faits

au Laboratoire municipal de la Ville de Paris avec la lampe Wenham n° 1 consommant 220 litres sous 61 millimètres de pression.

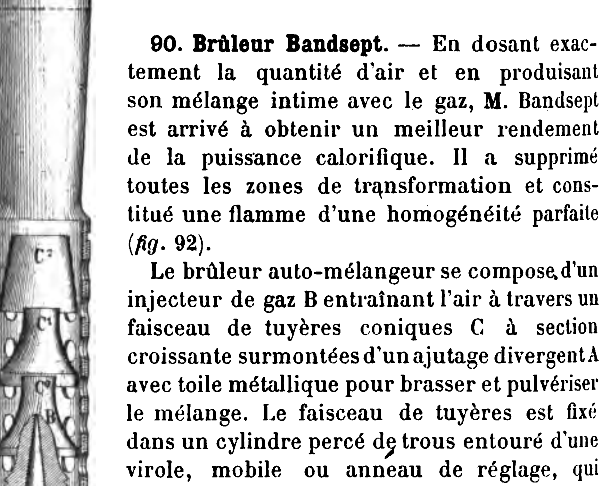


Fig. 92. Auto-mélangeur Bandsept.

90. Brûleur Bandsept. — En dosant exactement la quantité d'air et en produisant son mélange intime avec le gaz, **M.** Bandsept est arrivé à obtenir un meilleur rendement de la puissance calorifique. Il a supprimé toutes les zones de transformation et constitué une flamme d'une homogénéité parfaite (*fig.* 92).

Le brûleur auto-mélangeur se compose d'un injecteur de gaz B entraînant l'air à travers un faisceau de tuyères coniques C à section croissante surmontées d'un ajutage divergent A avec toile métallique pour brasser et pulvériser le mélange. Le faisceau de tuyères est fixé dans un cylindre percé de trous entouré d'une virole, mobile ou anneau de réglage, qui permet de déterminer la quantité d'air admise. On obtient des températures très élevées, au point de fondre des fils de platine. En plaçant dans la flamme un manchon ordinaire, on aura une lumière intense. Le rendement est très satisfaisant. Voici le résultat de quelques essais faits à Paris avec des brûleurs de débits différents.

DÉBIT HORAIRE EN LITRES	INTENSITÉ EN CARCELS SUIVANT L'HORIZONTALE	CONSOMMATION PAR CARCEL-HEURE
100	8 32	12
108	8,90	12,2
111	9,02	12,3
122	9,57	12,8
149	10,63	14

91. Brûleurs Denayrouse. — M. Denayrouse est également arrivé à des résultats excellents en partant du même principe, mais avec des moyens différents. Le mélange et la trituration du gaz et de l'air sont produits par un ventilateur

Modèle primitif.

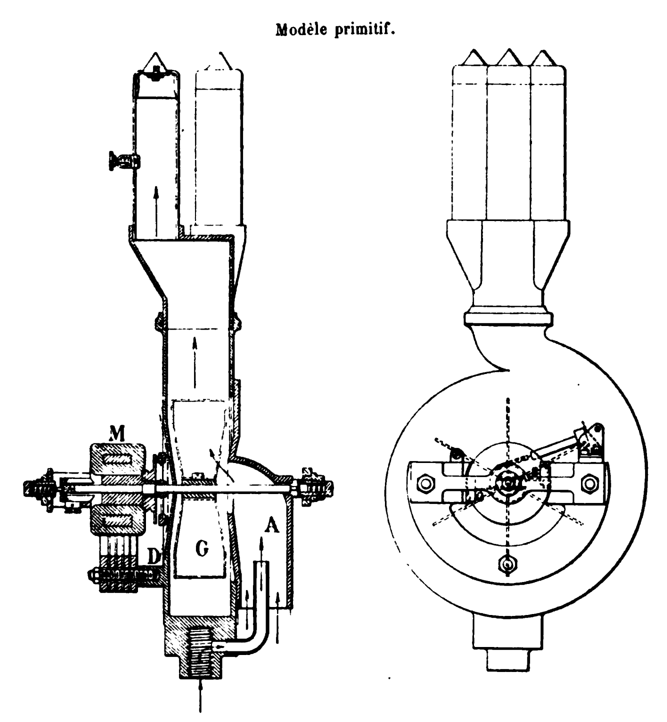


Fig. 93. — Brûleur Denayrouse.

malaxeur animé d'une très grande vitesse qu'on dispose à l'intérieur d'une caisse cylindrique en métal. Il est ensuite refoulé à une faible pression sous un manchon Auer. Le gaz arrive dans une conduite ordinaire filetée à sa partie inférieure de manière à pouvoir se visser sur tous les raccords ; il débouche ensuite dans une chambre A (*fig.* 93). Le fluide, en passant, aspire l'air dans la chambre du ventilateur G, d'où le mélange est refoulé

dans une cheminée verticale en cuivre munie d'une toile métallique empêchant tout retour de flamme. La cheminée en verre a été supprimée, les manchons sont à air libre. Sur l'arbre même du ventilateur se trouve calé un moteur électrique M qui reçoit le courant d'une pile, d'un accumulateur ou d'une distribution. L'inducteur est constitué par un aimant permanent ; l'induit fait environ 1.200 tours par minute.

Il n'y a pas de robinet, mais simplement une soupape en fer doux entouré d'une bobine. En fermant le circuit du ventilateur, le courant passe dans cette bobine qui attire la soupape. L'allumage se fait électriquement par l'étincelle de rupture d'un circuit près du manchon. Le mouvement du ventilateur n'étant pas constant, le réglage est obtenu par un régulateur à force centrifuge rompant le circuit et, par suite, fermant la soupape d'arrivée du gaz, lorsque le débit est trop fort.

Ce bec a un rendement très élevé.

Le tableau ci-dessous résume quelques essais photométriques effectués sur cet appareil.

CONSOMMATION de gaz PAR HEURE	INTENSITÉ lumineuse HORIZONTALE	ÉNERGIE ELECTRIQUE employée pour actionner LE VENTILATEUR		DÉPENSES de gaz EN LITRES par CARCEL-HEURE
		tension en volts	intensité en ampères	
321l,0	28c,20	2,4	0,30	11,4
373 ,0	32 ,29	2,5	0,31	11,6
329 ,0	26 ,82	2,4	0,30	12,3

En groupant plusieurs brûleurs, on peut obtenir des foyers d'une intensité comparable à celle de l'arc électrique et n'avoir qu'un seul ventilateur. Toutefois il convient d'observer que l'intensité ainsi obtenue n'est pas proportionnelle au nombre des manchons, attendu que les manchons se comportent entre eux comme des corps opaques.

Mais, quelle que soit la supériorité du brûleur Denayrouse

au point de vue du rendement lumineux, les sujétions qui l'accompagnent en font un appareil très délicat, peu compatible avec les nécessités de l'éclairage public.

Pour supprimer les inconvénients résultant de l'emploi du moteur et du malaxeur, M. Denayrouse a réalisé tout récem-

Modèle actuel.

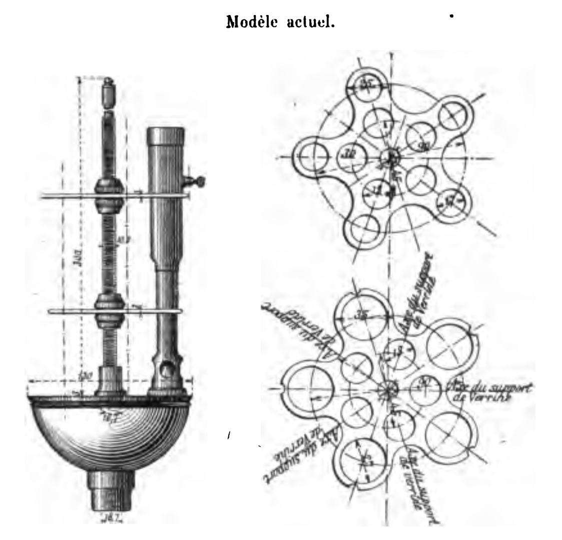


Fig. 94. — Brûleur Denayrouse.

ment un brûleur complètement exempt de mécanismes mobiles ; il se compose simplement d'une sorte de bec Bunsen dont la chandelle comprend deux chambres cylindriques superposées : celle du haut, appelée chambre de détente, a une section supérieure à celle du bas. Son orifice est recouvert d'une toile métallique (*fig.* 94). Les dimensions des chambres et des orifices d'admission de gaz et d'air sont spécialement déterminées en fonction du débit et de la pression d'écoulement.

L'intensité lumineuse de ce nouvel appareil est beaucoup plus faible que celle du modèle primitif. Le tableau ci-

après donne les résultats constatés au Laboratoire municipal de la Vérification du gaz.

CONSOMMATION DE GAZ PAR HEURE	INTENSITÉ LUMINEUSE HORIZONTALE en carcels	PRESSION D'ÉCOULEMENT en millimètres d'eau	DÉPENSES DE GAZ en litres PAR CARCEL-HEURE
275 ,0	16c,85	72	16,4
277 ,0	17 ,10	72	16,4
281l,0	17 ,75	72	16,4

Huit appareils de ce système comportant chacun huit brûleurs sont actuellement placés, à titre d'essai, place du Palais-Royal, à Paris.

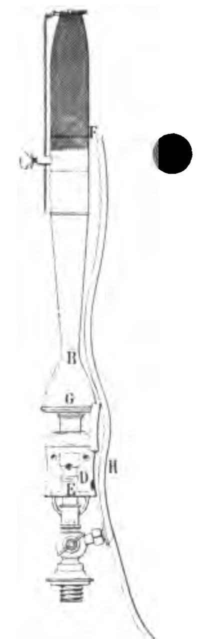


Fig. 95. — Brûleur intensif à gaz chaud.

92. Brûleur intensif à incandescence par le gaz chaud. — Ce nouveau brûleur construit, en 1897, dans les ateliers de régie du Service de l'Éclairage de la première section de Paris, a été établi en vue de fournir, par l'incandescence des manchons Auer, des foyers de grande intensité. Le principe de l'appareil consiste à employer, pour l'alimentation d'un Bunsen bitronconique GBF (*fig.* 95), du gaz chauffé dans le voisinage immédiat de l'injecteur. M. Saint-Paul a reconnu, en effet, qu'en modifiant convenablement la température du gaz destiné à alimenter ce Bunsen, il se produit un travail moléculaire ayant pour effet d'exalter l'entraînement de l'air ambiant et de favoriser les conditions du mélange nécessaire à la combustion de la masse gazeuse. L'échauffement du gaz est assuré par une veilleuse E recou-

verte d'une cloche D. Le débit de la veilleuse représente 5 0/0 de la consommation totale du brûleur. Une rampe H sert à l'allumage lorsque le brûleur est enfermé dans une lanterne. Les essais photométriques entrepris sur ce foyer ont été reconnus très avantageux : ils ont prouvé que le chauffage préalable du gaz procurait, à intensité égale, une économie d'environ 25 0/0.

Le tableau ci-après résume les expériences effectuées au Laboratoire de la Vérification du gaz de Paris sur un brûleur à gaz chaud muni d'un seul manchon Auer.

CONSOMMATION DE GAZ PAR HEURE VEILLEUSE COMPRISE (15 litres)	INTENSITÉ LUMINEUSE HORIZONTALE en carcels	PRESSION D'ÉCOULEMENT en millimètres d'eau	DÉPENSES DE GAZ en litres PAR CARCEL HEURE veilleuse comprise
297 litres	20,77	70	14,29
350 —	24,19	70	14,46
350 —	24,53	70	14,27
500 —	37,20	150	13,50
573 —	59,00	197	9,70

Comme le montre le tableau, l'intensité augmente très sensiblement en forçant la pression d'écoulement.

Ce rendement progressif permet de réaliser, au moyen de l'incandescence par le gaz, des foyers aussi intenses que l'arc voltaïque. Si, par exemple, on se proposait d'établir dans un jardin public, un marché ou tout autre établissement important, un éclairage équivalent comme puissance et comme teinte à l'éclairage par l'arc électrique, il serait aisé de fournir la pression nécessaire à un ensemble de foyers du nouveau système, en disposant, à l'origine de la conduite d'alimentation, un moteur proportionné à l'effet de compression à réaliser.

Des applications du gaz forcé ont d'ailleurs été tentées, en 1896, à l'Exposition de Berlin, où un moteur à gaz d'un demi-cheval, travaillant à demi-charge, suffisait pour comprimer par heure 20 mètres cubes de gaz sous 1 mètre de pression.

Le brûleur à gaz chaud est installé à Paris, à titre d'essai, pour l'éclairage de la voie publique.

93. Lumière oxyhydrique. — C'est une lumière tout à fait particulière employée pour l'éclairage des projections. Dans la flamme très chaude, mais incolore, produite par l'inflammation d'un mélange de gaz et d'oxygène, est placé un bâton de chaux. Les gaz, amenés chacun par un conduit spécial, se réunissent à la sortie en un seul jet ou dard; l'ensemble de l'appareil constitue un chalumeau oxyhydrique (*fig*. 96). Un des tuyaux se branche sur la conduite générale du gaz d'éclairage, l'autre est mis en communication avec un sac rempli d'oxygène. L'écoulement de l'oxygène est produit en exerçant une pression sur le réservoir élastique. Pour faire l'allumage, on commence par enflammer le gaz d'éclairage; puis, peu à peu, on ouvre le robinet de l'oxygène et on règle le débit en examinant l'intensité projetée par l'appareil. La lumière obtenue est très intense. Avec une pression de $0^m,18$ pour l'oxygène et de $0^m,03$ pour le gaz, on obtient 400 bougies. On peut disposer cinq ou six jets autour d'un seul bloc de chaux.



Fig. 96. Chalumeau oxyhydrique.

Lorsqu'on n'a pas à sa disposition du gaz d'éclairage, il faut recourir à d'autres substances. La flamme d'alcool sur laquelle on dirige un jet d'oxygène donne de très bons résultats. On peut se servir également d'éther à l'état liquide dans lequel on fait barboter un courant d'oxygène. L'appareil de M. *Molteni* (*fig*. 97) pour ce genre d'éclairage se compose d'un saturateur de forme cylindrique divisé en deux ou plusieurs compartiments remplis de matières absorbantes emmagasinant le liquide volatil. Sur ce réservoir se trouvent fixés le chalumeau et ses accessoires. Un tuyau de caoutchouc met en communication le réservoir d'oxygène avec un tube en forme de T, une des branches communique avec le saturateur, l'autre va directement au brûleur. Le gaz saturé est enflammé directement et brûle au contact de l'oxygène pur. Le débit des deux courants se règle au moyen de robinets. Cet appareil, pourtant fort simple, donne une lumière plus intense que celle du chalumeau oxyhydrique. Les images

obtenues sont très nettes à cause du dard très petit de la flamme, mais il exige de grandes précautions.

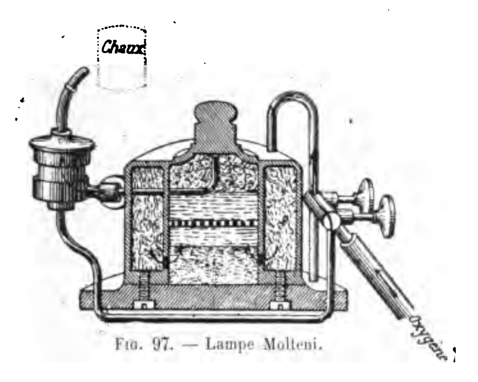


Fig. 97. — Lampe Molteni.

En 1867, on a essayé d'appliquer la lumière oxyhydrique à l'éclairage public (place de l'Hôtel-de-Ville à Paris) ; mais le procédé, trop compliqué et trop coûteux, a dû être abandonné après un mois de fonctionnement.

§ 5. — Bruleurs a gaz carburé

94. Albocarbon. — Le gaz de houille devant être débarrassé d'un carbure très éclairant, la naphtaline, qui, sans cela, ne tarde pas à encrasser les conduits au moindre abaissement de température, on a imaginé de lui restituer ce carbure au moment précis de son emploi. Cet éclairage porte le nom d'albocarbon.

Dans ces brûleurs la naphtaline est placée dans un réservoir spécial rempli aux deux tiers de cette substance qui commence à fondre à 80° pour se volatiliser à 210, tout en émettant cependant des vapeurs à la température ordinaire. Aussi le chauffage direct ne saurait être employé, la flamme serait trop riche en carbone et ne tarderait pas à fumer. L'évaporation est obtenue indirectement. Au-dessus du brûleur (*fig.* 98) on place une plaque infusible reliée au réservoir

par une tige métallique. Par conductibilité on obtient un échauffement modéré des cristaux de naphtaline. Le gaz va au brûleur en passant au-dessus de la naphtaline où il se sature de cet hydrocarbure. On peut régler la quantité volatilisée en modifiant la surface de la lame au-dessus de la flamme. Le brûleur employé est du type Manchester (n° 1) à trous très petits. La lumière de l'albocarbon est très fixe et très blanche; la flamme, très petite, a l'inconvénient de dégager une odeur désagréable qui limite l'emploi de cet éclairage à quelques établissements spéciaux, — pharmacie, droguerie, etc., — en un mot tous ceux où elle peut être atténuée par d'autres odeurs. Autour d'un même réservoir, on peut disposer plusieurs brûleurs ; on réalise ainsi des foyers plus puissants, tout en réduisant l'entretien, qui consiste simplement à renouveler la naphtaline vaporisée. Au lieu de gaz de houille on peut employer des gaz pauvres, comme nous le verrons à l'article spécial des gaz carburés.

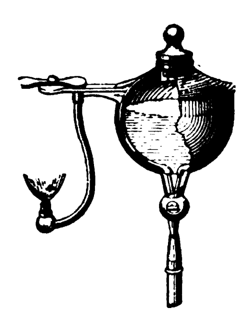


Fig. 98. — Albocarbon.

Le tableau ci-dessous donne le pouvoir éclairant de divers foyers albocarbon.

DÉBIT horaire	NOMBRE DE BECS Manchester n° 1	INTENSITÉ en carcels	DÉPENSE HORAIRE par carcel	DÉPENSE HORAIRE en naphtaline
500[l]	6	11,67	44[l],0	8[gr],2
900	12	24,	38	8 ,[illegible]
1030	12	27,09	38	8 ,2

§ 6. — Appareils de réglage des brûleurs

95. Utilité des régulateurs. — Malgré l'emploi de régulateurs d'émission aux usines et le soin de n'envoyer dans le réseau qu'une quantité de gaz proportionnée aux besoins de la consommation, la pression dans les canalisations subit des fluctuations qui ont pour conséquence de troubler le régime de fonctionnement des brûleurs.

Pour soustraire ceux-ci à l'influence des variations de pression, on a combiné des appareils que l'on dispose soit au-dessous de chaque brûleur, soit au départ des conduites desservant les divers groupes de brûleurs.

Les appareils adaptés aux brûleurs mêmes sont appelés *rhéomètres*. Ils ont pour office de maintenir constant le débit des brûleurs, quelles que soient les variations de la pression.

Les appareils disposés à l'origine de la canalisation desservant un groupe de brûleurs sont plus spécialement désignés sous le nom de *régulateurs*. Ils ont pour but de fournir un débit variable sous une pression fixée à l'avance. Le principe de ces divers appareils est sensiblement le même.

Soit H la pression dans la canalisation immédiatement avant le rhéomètre ; *h*, la pression de sortie. La charge maintenant l'écoulement sera H — *h*, et, par suite, le débit sera proportionnel à cette valeur. Les rhéomètres sont établis pour que, H et *h* variant, la valeur H — *h* soit constante ; les régulateurs, au contraire, pour que *h* soit constant, comme on l'a vu § 61. On distingue les rhéomètres humides et les rhéomètres secs.

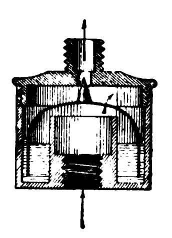


Fig. 99. — Rhéomètre humide.

96. Rhéomètres humides. — Le type de ces appareils est le rhéomètre Giroud représenté par la figure 99 ; il se compose d'une boîte cylindrique vissée immédiatement sous le bec ; le gaz arrive par le bas et s'échappe par le haut.

A l'intérieur se trouve une cloche en cuivre-nickel percée d'un orifice réglé en vue de fournir le débit désiré. Elle est renversée sur une cuvette annulaire contenant un liquide non volatil et incongelable (glycérine, huile d'amandes douces). La cloche est, en outre, munie à sa partie supérieure d'une pointe conique susceptible d'obturer plus ou moins le tube de sortie.

Lorsque le gaz pénètre dans le rhéomètre, il soulève la cloche, passe par l'orifice et se dégage vers le brûleur dans l'espace annulaire plus ou moins large laissé libre par le cône d'obturation.

Dès lors, si H est la pression à l'arrivée ; h, celle de la sortie;
S, la section de la cloche ;
p, son poids ;
la condition d'équilibre sera :

$$H - h = \frac{p}{S} = \text{constante.}$$

En donnant à p et à S des valeurs convenables, on pourra faire varier l'orifice circulaire de la cloche pour ne laisser passer qu'un volume fixe de gaz. Il va sans dire que le réglage ainsi réalisé ne convient que pour un gaz déterminé.

Ces rhéomètres constituent d'excellents appareils de réglage ; mais ils offrent certains inconvénients provenant de l'emploi du liquide qu'il faut renouveler de temps à autre. En outre, lorsqu'on souffle dans les tuyaux de distribution en vue d'en chasser les eaux de condensation qui s'y son accumulées, il faut avoir soin de retirer les rhéomètres, si on ne veut pas les dérégler.

97. Rhéomètres secs. — Ces appareils sont basés à peu près tous sur le même principe : un cylindre en cuivre dans lequel se meut un disque très mince en aluminium surmonté d'un petit tube de même métal. Ce dernier, convenablement ajusté, coulisse sans frottement sur une partie fixe et sert de guide au disque. Tout cet ensemble constitue la soupape du rhéomètre (*fig.* 100).

Le gaz arrivant sous le disque le soulève, traverse le vide annulaire existant entre la périphérie du disque et la paroi

interne du cylindre formant le corps principal du rhéomètre, et vient s'engager ensuite dans la cheminée du rhéomètre sur laquelle est fixé le brûleur.

Dans certains rhéomètres, où le petit tube de la soupape coulisse dans la cheminée, la partie supérieure de cette dernière est fermée, et c'est sur les côtés que sont percés deux orifices rectangulaires par lesquels s'échappe le gaz pour se rendre au brûleur ; ces deux orifices peuvent être obstrués complètement ou partiellement par le tube surmontant le disque. Au moment de l'ouverture du robinet placé sous le rhéomètre, le gaz soulève le disque de telle façon que le tube d'échappement qui le surmonte vient fermer complètement les orifices d'écoulement de la paroi cylindrique de la cheminée ; mais, comme le gaz pénètre en même temps par l'espace annulaire entre le disque et le corps du rhéomètre, il s'établit instantanément une contre-pression qui permet au disque de descendre sous l'action de son poids ; le tube d'écoulement, en s'abaissant, dégage en partie les orifices d'échappement, et le disque prend, par suite, une position d'équilibre, telle que la différence des pressions exercées sur ses deux faces est égale au poids de la soupape.

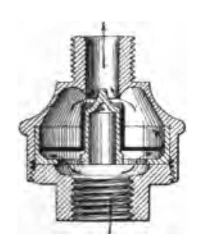


Fig. 100. — Rhéomètre sec.

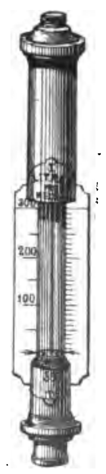


Fig. 101. Compteur portatif.

Le gaz s'écoulant sous l'influence d'une chute de pression constante, indépendante de la pression d'entrée, sa vitesse d'écoulement et, par suite, son débit demeurent constants. On peut faire la chambre du rhéomètre en verre et, sur une échelle graduée, indiquer pour une position du disque la pression et le débit correspondants. On obtient ainsi un compteur portatif dont les indications, quoique peu précises, sont suffisantes (*fig.* 101).

Pour les appareils d'éclairage intérieur on doit pouvoir faire varier le débit du rhéomètre suivant l'intensité que l'on veut donner au brûleur. A cet effet, plusieurs dispositifs ont

été adoptés par les fabricants. Les uns ont ajusté le mieux possible le disque de la soupape, de telle sorte que le volume du gaz qui peut passer entre le bord du disque et la paroi du cylindre soit insuffisant pour le débit demandé. L'appoint supplémentaire est obtenu en laissant passer une nouvelle quantité de gaz par un ou plusieurs orifices percés dans le disque lui-même, ces orifices pouvant, d'ailleurs, être obturés à volonté par une petite lame métallique qu'on peut appliquer dessus. D'autres fabricants ont laissé le plus grand possible l'espace annulaire entourant le disque et obtiennent le débit désiré, en élevant ou abaissant, à l'aide d'un pas de vis, la cheminée comportant les fenêtres d'échappement.

Dans le rhéomètre sec de M. Bablon (*fig.* 102) le tube surmontant le disque est ouvert à sa partie inférieure, le gaz passe entre le disque et le corps du cylindre et entre le tube surmontant le disque et une cloison fixe ; en outre, il en passe une certaine quantité dans l'intérieur du tube ; or il est aisé de limiter à volonté cette dernière quantité en enfonçant à la partie inférieure du tube une petite capsule munie de deux fenêtres. Le gaz ne pouvant pénétrer que par ces fenêtres, son écoulement sera d'autant plus faible que la capsule aura été plus enfoncée dans le tube.

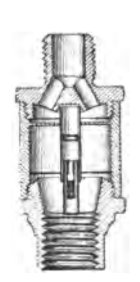


Fig. 102. Rhéomètre Bablon.

La qualité d'un rhéomètre sec dépend du fini de sa fabrication, il faut réduire les frottements qui nuisent à sa sensibilité. Il doit être construit pour que les poussières du dehors ne puissent pénétrer à l'intérieur. C'est ainsi que, dans le rhéomètre Bablon, celles qui pourraient s'introduire, pendant la pose, par l'orifice du bec suivant les canaux divergents du couvercle viennent tomber sur la cloison fixe au-dessus de la soupape dont elles ne peuvent plus gêner les mouvements.

98. Pose des rhéomètres. — On place généralement les rhéomètres immédiatement au-dessous des becs. Dans ce cas il est bon de tenir compte de la nature de ce dernier; s'il est en métal, il provoque l'échauffement du régulateur, la

dilatation du gaz qui le traverse et, par suite, une diminution du débit pouvant atteindre une vingtaine de litres à l'heure.

Pour certains foyers, dans lesquels l'alimentation se fait de haut en bas, on a dû recourir à des appareils spéciaux. On peut, par exemple, faire rebrousser le gaz de manière à l'amener de bas en haut. On emploie également la lyre carrée basée sur ce principe ; une boule de rodage permet à l'appareil d'osciller dans tous les séns ; le gaz suit le chemin indiqué par les flèches (*fig.* 103). Il existe également des rhéomètres permettant l'entrée du gaz de haut en bas. Mais,



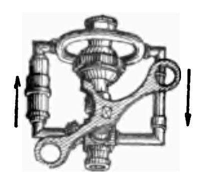


Fig. 103. — Pose des rhéomètres sur les conduites descendantes.

dans ce cas, il faut bien faire attention que la résistance de la tige de suspension ne soit pas diminuée.

CHAPITRE VII

ÉCLAIRAGE PRIVÉ. — ÉCLAIRAGE PUBLIC

§ 1. — Éclairage privé

99. Dispositions des appareils. — *Raccords.* — Les brûleurs sont montés sur des appareils dont les formes ont été appropriées aux divers besoins. Quel que soit le modèle adopté, l'appareil en fer ou en cuivre reçoit, à une extrémité, le brûleur; à l'autre, il est réuni à la conduite en plomb par l'intermédiaire d'un tube en cuivre, ou raccord. Ce dernier se

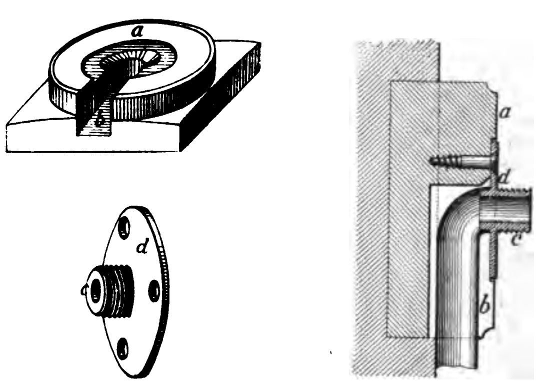


Fig. 104. — Raccord à patère.

soude, d'un côté, au tuyau de plomb; l'autre, taraudé, est vissé à l'emmanchement femelle de l'appareil.

Il y a deux sortes de raccords, celui à *patère* et celui à

cuvette. Le premier (*fig.* 104), qui est le plus répandu, se compose d'un petit disque en bois *a*, entaillé suivant un évidement circulaire dans lequel vient se loger une plaque de cuivre également circulaire, *d*, maintenue par trois vis. Le conduit en plomb pénètre dans la patère par une encoche *b* et se soude au raccord de cuivre. Cette soudure se fait en premier lieu. La patère est scellée au mur ou au plafond, soit simplement au plâtre, soit au moyen de clous à pattes. Lorsque le scellement est sec, on introduit par l'encoche la conduite en plomb, en même temps que le raccord de cuivre se place dans l'évidement. On met les vis ; le raccord est prêt à recevoir l'appareil qu'il n'y aura plus qu'à visser sur *c*.

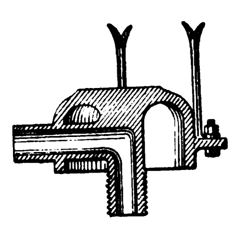


Fig. 105. — Raccord à cuvette.

Si l'appareil à supporter est trop lourd, on emploie le raccord à cuvette (*fig.* 105). Il se compose d'une cuvette en bronze portant des pattes traversées par des crochets en fer à scellement, qui viennent se fixer entre le plafond et le plancher. Très souvent même, pour plus de sûreté, on emploie des tirefonds avec des barres transversales, reposant sur la charpente. La cuvette est munie d'un raccord coudé, se soudant, d'un côté, à la conduite en plomb, et se vissant, de l'autre, à la tige de l'appareil. Au moyen d'une vis latérale traversant les deux tubes, on empêche tout déplacement.

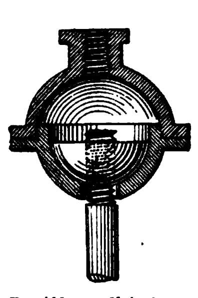


Fig. 106. — Noix à gaz.

La fixation définitive de l'appareil peut avoir des inconvénients, entre autres celui d'une rigidité excessive. On y remédie en employant un raccord spécial, dit *noix à gaz* (*fig.* 106).

Il comporte trois parties hémisphériques; deux extérieures, creuses, se vissant l'une sur l'autre; la troisième, qui supporte l'appareil, se loge dans le vide intérieur des deux premières; elle doit être rodée pour que le joint soit

étanche. L'hémisphère supérieur se visse sur le raccord du plafond, et l'assemblage est rendu invariable au moyen d'une vis latérale. La noix à gaz, comme toutes les parties frottantes des appareils, doit être graissée avec un lubréfiant parfaitement propre, qui, tout en facilitant les manœuvres, préserve des fuites.

Si on veut profiter d'un piton déjà existant sur un plafond, pour installer un appareil à gaz remplaçant une lampe à huile ou à pétrole, on se sert du *raccord à belière*. A cet effet, on amène le gaz à proximité du piton, au moyen d'un conduit en cuivre terminé par un raccord, qui servira à le relier à une pièce spéciale en laiton, appelée belière. La belière est constituée par un tube vertical, fermé à sa partie supérieure et fileté à la partie inférieure pour recevoir l'appareil à supporter ; latéralement, un ajutage taraudé peut se raccorder au tube d'amenée du gaz. La partie supérieure du cylindre porte deux disques enfourchant le piton ; un boulon traversant les disques assure la suspension du système.

Nature des appareils. — Lorsque l'appareil est suspendu et qu'il n'y a qu'un seul brûleur à l'extrémité, le tuyau d'amenée du gaz affecte la forme d'une *lyre ;* une seule branche est creuse, l'autre ne sert que pour la symétrie ; on peut même la supprimer, et on a plus spécialement la *lampe de bureau* ou d'*atelier*. S'il y a deux brûleurs, on les place symétriquement à l'extrémité d'une tige horizontale, ayant la forme d'un *té*. Au-dessus de deux brûleurs, on emploie des *lustres*, dont l'ornementation a une grande importance, car ils entrent pour beaucoup dans la décoration des appartements.

Dans certains cas, celui d'une salle à manger par exemple, il faut pouvoir placer le brûleur à des hauteurs différentes ; la tige de descente est alors formée par deux tubes concentriques, dont l'un est fixe, et l'autre mobile porte la lampe équilibrée par un contrepoids. Le joint est rendu étanche au moyen d'une étoupe graissée ou en liège. On doit éviter l'emploi de ce système à cause des fuites.

Au lieu d'être fixé au plafond, le raccord peut être appliqué au mur ; l'appareil, vissé à la manière ordinaire, s'appelle *bras fixe ;* il est plus ou moins ornementé à un ou plusieurs

brûleurs. Pour l'éclairage des cours, des passages, on enferme le bras fixe sous un abri transparent pour le préserver du vent. On lui donne alors le nom de *manchon-applique*.

Très souvent, le bras fixe est rendu mobile, autour d'un axe vertical, de manière à pouvoir déplacer la flamme dans un plan horizontal. Il est alors formé de plusieurs tubes articulés entre eux, et, suivant le nombre de tubes, on a la *genouillère* simple, double ou triple.

Enfin on peut avoir besoin de déplacer le brûleur dans tous les sens ; on remplace les tuyaux rigides par un tube flexible en caoutchouc, qui vient se fixer sur un téton muni d'un robinet monté sur la conduite fixe ; l'autre extrémité se raccorde à la *lampe mobile*. Il faut avec cet appareil prendre garde aux fuites qui peuvent se produire aux deux joints.

D'une manière générale, chaque brûleur doit être muni d'un robinet d'isolement à taquet, empêchant toute méprise dans la fermeture. Chaque fois qu'on veut éteindre tous les appareils, il faut commencer par fermer les robinets des brûleurs avant celui du compteur ; on évite ainsi les fuites certaines qui se produiraient au moment du rallumage si, par inadvertance, on avait laissé des robinets d'appareils ouverts.

Le choix des appareils à l'intérieur des habitations est subordonné à la nature des locaux à éclairer ; de plus, l'ornementation doit correspondre à celle de la pièce. Lorsqu'il s'agit d'éclairer un objet fixe, par exemple une table, on emploie une suspension, si elle est au milieu, ou des genouillères, si elle est adossée à un mur. Au contraire, s'il s'agit d'un éclairage général de tous les points, on se servira de lustres et de bras fixes, répartis convenablement.

100. Cheminées. — Globes. — Fumivores. — *Cheminées.* — Les becs ronds nécessitent l'emploi de cheminées en verre. Dans le cas de brûleurs ordinaires, on peut appliquer aux cheminées ce qui a été dit pour les lampes à huile ou à pétrole. On a imaginé plusieurs dispositifs : il y a eu des verres coudés, rétrécis dans le haut ; mais on est revenu aux cheminées cylindriques, plus simples et plus économiques.

Pour les becs à incandescence on emploie des cheminées

absolument blanches ou légèrement teintées de rose pour corriger la lueur blafarde du manchon. Par suite de la grande chaleur dégagée par le bec, lorsque la cheminée est exposée aux courants d'air, on fait usage de cheminées en mica ou de cheminées dites à baguettes. Ces dernières sont constituées par le groupement de baguettes de verre, appliquées l'une contre l'autre et réunies à leurs extrémités par une couronne métallique. Elles n'absorbent que 12 0/0 de lumière, tandis que celles en mica retiennent 30 à 40 0/0; par contre, il est difficile de les maintenir parfaitement propres, la poussière se logeant entre les baguettes.

Globes. — A l'intérieur des habitations, les becs à flamme libre et même ceux à cheminée sont souvent entourés d'un globe en verre clair ou opalin. Tout en donnant plus de fixité à la flamme pour les becs à air libre, ils permettent d'obtenir une lumière plus diffuse. Dans les brûleurs à cheminée, le globe repose directement sur la galerie de la cheminée dans ceux à flamme libre, ils sont maintenus au moyen d'un support à griffes à trois branches. L'ouverture du bas ne doit pas être trop grande ($0^m,08$), sous peine de créer un courant d'air trop vif qui agite la flamme. Par contre, certains globes, en forme de tulipes, sont trop ouverts du haut et pas assez du bas. La nature du verre joue un grand rôle dans le rendement lumineux; les globes dits *opalins* absorbent de 40 à 60 0/0 de la lumière, les globes *émaillés* sont encore plus défectueux et ne peuvent servir qu'à donner une coloration particulière à la lumière. Ceux en verre *dépoli* sont préférables.

On emploie également les globes *holophanes*, que nous retrouverons au chapitre de l'*éclairage électrique*.

Fumivores. — Pour préserver les plafonds des dépôts de fumée que certains brûleurs peuvent laisser échapper accidentellement, on place au-dessus de ceux-ci des obturateurs ou fumivores, formés par une petite cloche en porcelaine émaillée ou en tôle vernie. Leur hauteur au-dessus du bec dépend de la nature de ce dernier; elle ne doit pas être trop élevée pour bien arrêter le jet des gaz de la combustion et

l'empêcher de se disperser. Le fumivore se fixe généralement au moyen d'un crochet au tube même d'alimentation du gaz.

101. **Réflecteurs.** — Lorsqu'il s'agit de ramener la lumière dans certaines directions, on a recours à des réflecteurs dont la forme est étudiée en vue des résultats à obtenir. Leur emploi est indispensable, lorsque l'on veut éclairer la portion de l'espace située au-dessous des foyers lumineux. Généralement, le réflecteur a alors une forme conique ou sphérique ; la première donne un faisceau à rayons divergents, la seconde, au contraire, un faisceau à rayons sensiblement parallèles, à la condition que le brûleur soit au foyer principal. Ils se font en porcelaine blanche ou de couleur, en tôle émaillée, rarement nickelée, car la fumée ne tarderait pas à les noircir, à moins toutefois d'employer des becs à cheminée évacuant les gaz brûlés au-dessus du réflecteur. Le mode de suspension est également variable; presque toujours le réflecteur est supporté par un cercle avec deux ou trois branches prenant leur point d'appui sur la monture du bec lui-même.

§ 2. — Éclairage public

102. **Lanternes.** — Les brûleurs destinés à l'éclairage extérieur doivent être enfermés dans des abris en verre ou lanternes. Comme on l'a vu pour les lanternes des lampes à huile, l'appareil doit présenter les ouvertures nécessaires pour l'admission de l'air et l'échappement des gaz avec les dispositions complémentaires pour empêcher toute fluctuation de la flamme.

Au point de vue de la forme et de l'aspect extérieur, il y a plusieurs modèles de lanternes.

Une des plus simples consiste en une pyramide renversée, à quatre faces planes, surmontée d'une seconde plus petite terminée par un chapiteau. Les diverses faces sont garnies de verres glissant dans les rainures des montants de la lanterne. Quelquefois celles du haut sont munies de simples

plaques de tôle blanchie pour former réflecteur. L'une des grandes faces est mobile de manière à faciliter le nettoyage intérieur. Le fond reçoit une petite porte, ou trapillon, constituée par un treillis métallique pour le passage de l'air. Elle sert également à l'introduction de la lampe d'allumage; la fermeture se fait automatiquement au moyen d'un contrepoids. Cet appareil n'est pas disposé pour empêcher les mouvements de la flamme.

A Paris on n'emploie plus maintenant que des lanternes en bronze de forme tronconique; les verres bombés sont maintenus dans les montants, au moyen de mastic. L'un des verres est mobile et forme porte ; le fond est muni, pour l'allumage, d'un trapillon qui se meut horizontalement. Le chapiteau de la lanterne est garni intérieurement d'un réflecteur en porcelaine. Ce modèle de lanterne est plus gracieux que le précédent, mais il est aussi plus coûteux.

103. Candélabres. — Les lanternes peuvent être suspendues, c'est le cas pour l'éclairage des passages couverts. Le tube d'amenée du gaz supporte la lanterne même; il descend, lorsque le brûleur n'est pas à flamme en dessous, le long d'un des montants de l'appareil pour se redresser ensuite au milieu, où il se raccorde avec le chandelier du brûleur vertical.

Le plus souvent les lanternes sont montées sur des colonnes fixes, ou *candélabres*, disposées le long des trottoirs (*fig.* 107). Ils sont généralement en fonte, recouverts d'une peinture ou d'un dépôt galvanique (système Oudry). L'aspect de ces derniers est plus satisfaisant.

Les candélabres employés par la Ville de Paris (modèle Oudry) sont composés d'un scellement de $0^m,65$ de hauteur, d'une borne de $0^m,75$, et d'un fût dont la hauteur est de $1^m,85$, $2^m,00$ $2^m,15$ ou $2^m,30$.

Le fût s'emboîte dans la borne et y est fixé par trois boulons; cette dernière pénètre dans le scellement sur lequel elle est maintenue par trois autres boulons. Les candélabres sont scellés au plâtre dans un massif de maçonnerie de moellons ou de briques.

Le tuyau de branchement, qui est en plomb de $0^m,027$,

pénètre dans le candélabre par les évidements ménagés dans le scellement, et se raccorde avec la chandelle du bec logé dans la lanterne (*fig.* 108) par l'intermédiaire :

1° D'un raccord de plomberie (*r*), traversant une plaque-crapaudine (*p*), fixée par des vis sur la tête du candélabre ;

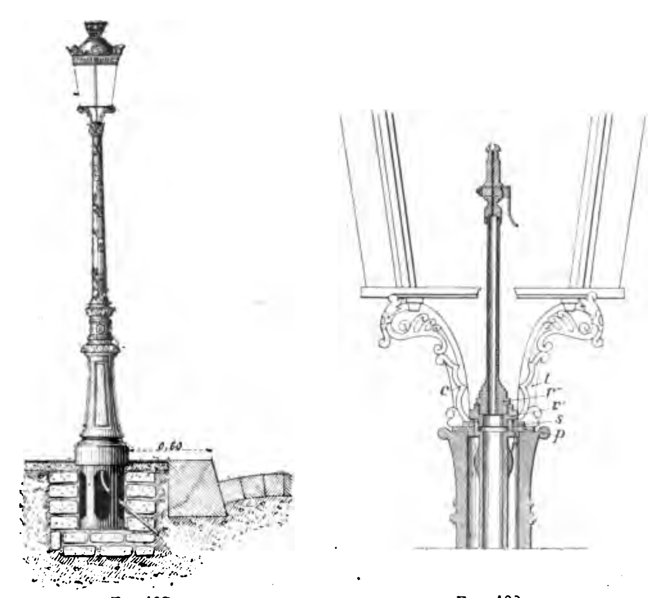


Fig. 107.
Candélabre.

Fig. 108.
Raccordement d'une lanterne sur candélabre.

2° D'un raccord (*r'*), qui vient se visser sur le raccord (*r*) et muni lui-même, intérieurement, d'un filet destiné à recevoir le raccord (*r''*) servant de base à la chandelle du bec.

Un épaulement ménagé à la partie inférieure du raccord (*r'*) est destiné à caler les croisillons (*c*) de la lanterne, sur la plaque-crapaudine (*p*), au moyen d'une bague (*s*).

104. Candélabres-consoles. — Consoles à scellement. — Lorsque les trottoirs sont étroits, on remplace les candé-

labres ordinaires par des *candélabres-consoles* disposés contre la façade des immeubles riverains (*fig.* 109).

A Paris, le candélabre-console se compose de deux parties principales, la partie inférieure, en un seul morceau, de $1^m,70$ de hauteur, comporte le scellement et la base ; la partie supérieure, qui s'emboîte dans la précédente, comprend

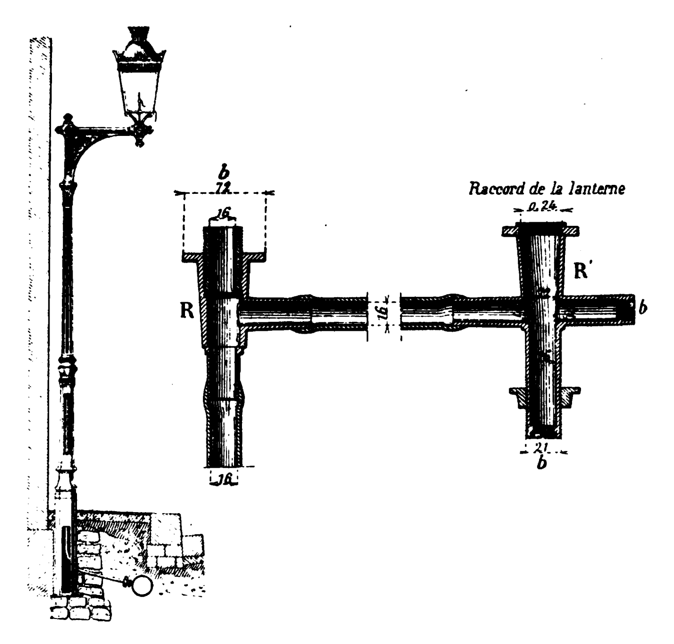


Fig. 109. — Candélabre-console.

Fig. 110. — Raccordement d'une lanterne et de sa plomberie sur un candélabre-console.

le fût vertical de $2^m,10$ de hauteur et la console de $0^m,60$ de longueur, venus ensemble de fonte. Sur les extrémités de la console (*fig.* 110) reposent deux raccords en laiton destinés, l'un R' à recevoir la lanterne, l'autre R à assurer la continuité, du tube d'alimentation. Ce dernier, à trois voies, est muni d'une crapaudine et d'un écrou obturateur à sa partie supérieure.

Le branchement destiné à l'alimentation des candélabres-

consoles est en plomb de $0^m,027$ depuis la conduite jusqu'au pied du candélabre; à partir de ce point, le diamètre est réduit à 16 millimètres.

La partie verticale de la plomberie est disposée à l'intérieur de la base et du fût du candélabre, elle se soude à la tubulure inférieure du raccord de jonction R. La portion horizontale placée dans une rainure ménagée à la partie supérieure de la console est soudée par ses extrémités, d'une part, à la tubulure de droite du raccord de jonction, d'autre part, à la tubulure de gauche du raccord de la lanterne R′. Des bouchons *b* permettent le dégorgement de la canalisation.

Enfin, dans certains cas, on peut employer, pour supporter les lanternes, de simples consoles scellées dans les murs de façade des maisons.

Le tuyau en plomb amenant le gaz est alors noyé dans la maçonnerie de la façade; cette disposition a des inconvénients graves, car elle peut causer des infiltrations de gaz dans les habitations; de plus, en cas d'incendie, le danger est augmenté. A ces divers points de vue, les candélabres-consoles sont préférables.

Il existe encore un grand nombre d'appareils appropriés à l'éclairage extérieur: c'est ainsi qu'on avait imaginé des candélabres à trois et cinq lanternes; mais l'apparition des brûleurs intensifs a rendu cette complication inutile.

105. Brûleurs employés. — Au début on n'employait que des brûleurs à air libre. La consommation était fixée d'après un brûleur type. A Paris il y avait trois séries de becs prévus au cahier des charges de la Compagnie du gaz :

				FLAMME	
		litres	bec	largeur	hauteur
1re Série	consommant	100	4/10	5c,00	4c,00
2e —	—	140	6/10	7 ,00	6 ,00
3e —	—	200 qui n'a pas été employé			

A ces divers becs sont venus s'ajouter, depuis, les brûleurs intensifs à air froid, puis à air chaud, enfin les brûleurs à incandescence à gaz froid et à gaz chaud. Dans le cas de becs

intensifs à récupération, il faut employer les fortes consommations qui permettent de réduire le nombre des appareils, tout en ayant un rendement meilleur; à cet égard, il paraît convenable de ne pas employer des foyers d'un débit inférieur à 350 ou 400 litres. Pour les becs Auer il faut avoir soin de les monter de manière à éviter les trépidations. Quant à la conduite d'amenée du gaz, elle doit être suffisante pour n'avoir pas à craindre l'obstruction par la naphtaline en cas de gelée; les papillons 6/10 sont alimentés par des conduites de $0^{m},027$ de diamètre.

106. Allumage. — *Becs ordinaires.* — Dans le cas des brûleurs ordinaires à air libre, la question ne présente qu'un intérêt secondaire ; cependant, en ce qui concerne l'éclairage public, il y a avantage à avoir un allumage assez rapide. Il se fait généralement au moyen d'une petite lampe à huile de colza fixée à l'extrémité d'une perche. La flamme est enfermée dans un capuchon muni de petits volets qui la préservent contre le vent. Au-dessus du capuchon, on place un crochet pour la manœuvre du robinet-bascule. Lorsque le brûleur est à rhéomètre, l'allumeur ouvre le bec en grand ; dans le cas contraire, il se guide sur la largeur de la flamme pour les becs papillons. Un allumeur, suivant un itinéraire déterminé, allume 60 à 70 becs en quarante minutes.

Becs à récupération. — Avec les becs à récupération, l'allumage, même pour les appareils d'intérieur, est assez délicat: il faut ouvrir la coupe pour accéder au brûleur. Un grand nombre de dispositifs ont été imaginés pour faciliter cette opération: l'emploi d'une rampe, d'une veilleuse permanente, ou bien encore d'une coupe munie à sa partie inférieure d'une bille en verre, sont les moyens les plus répandus.

Pour les foyers employés à l'éclairage public, on a généralement recours à la veilleuse ou à un allumoir électrique.

La veilleuse a comme inconvénient de provoquer pendant le jour une dépense de gaz en pure perte ; si le brûleur est à forte consommation, l'augmentation de dépense (15 litres à l'heure) qui en résulte est relativement insignifiante ; s'il est à faible débit, l'application de la veilleuse est inadmis-

sible. L'allumage électrique, qui s'obtient en faisant jaillir au-dessus du brûleur une étincelle de rupture ou bien encore en portant un fil à l'incandescence, a contre lui l'obligation d'une installation toute spéciale, souvent de courte durée. Le système du fil incandescent a dû même être abandonné pour ce motif. Le procédé par l'étincelle de rupture est préférable; le candélabre porte deux fils isolés que l'allumeur met en communication avec une pile réversible; il suffit de rompre le passage du courant pour produire l'étincelle.

Becs à incandescence. — Dans le cas des becs à incandescence, l'allumage doit se faire avec soin et toujours sans produire d'explosion. Pour les becs employés à l'éclairage privé, on enflamme le gaz par le bas au moyen d'un allumoir formé par un petit tampon imbibé d'alcool. Le robinet est d'abord ouvert pour purger la canalisation de l'air qu'elle peut renfermer, puis on le referme pour ne le rouvrir que lorsqu'on aura approché du manchon le tampon enflammé.



Fig. 111. Allumage à la rampe.

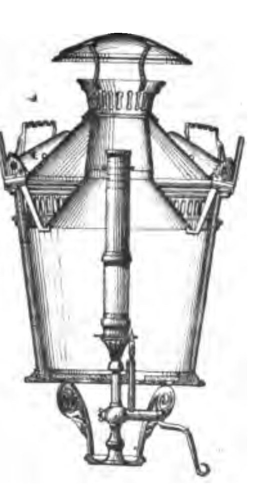


Fig. 112. — Allumage au porte-flamme.

Si le bec est difficilement accessible, on peut se servir d'une petite rampe latérale dont le fonctionnement est le suivant : dès qu'on tourne un peu le robinet (*fig.* 111), le gaz monte dans la rampe qu'on enflamme à la manière ordinaire; en continuant d'ouvrir le robinet, le gaz pénètre peu à peu sous le manchon, chasse l'air et s'allume finalement au contact de la rampe, qui ne reçoit plus de gaz lorsque le robinet est complètement ouvert.

D'autres brûleurs à incandescence dont le fonctionnement est intermittent sont munis d'une veilleuse à faible débit (4 litres environ), réglée au moyen d'une vis spéciale ; il suffit

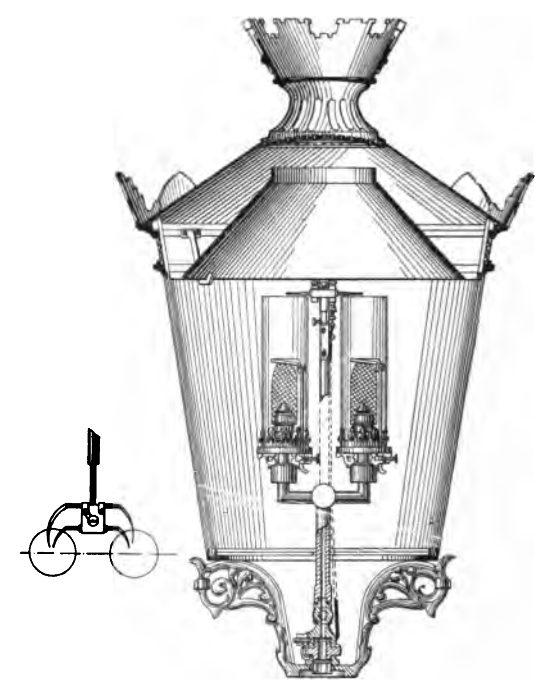


Fig. 113. — Allumage par l'étincelle électrique.

de tourner plus ou moins le robinet pour mettre le bec ou la veilleuse en service.

Depuis l'application des becs à incandescence à l'éclairage public, il a fallu trouver des procédés simples et rapides pour leur allumage. Le premier consiste en l'addition d'un porte-flamme monté sur le robinet à bascule et d'un volet mobile pour le passage du porte-flamme. Quand on pousse la bascule dans le sens de l'allumage, le gaz arrive dans le

porte-flamme que l'on enflamme au dehors de la lanterne, en continuant la rotation ; le porte-flamme soulève le volet, entre dans la lanterne, met le feu au gaz du manchon, puis ressort du côté opposé, laissant retomber le volet mobile et s'éteignant faute de gaz. L'extinction du brûleur se faisant en

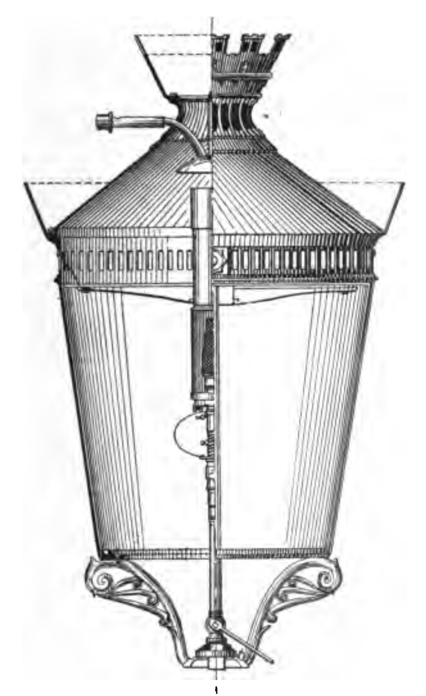


FIG. 114. — Allumage à la cuillère.

sens inverse, on revient au point de départ, prêt à recommencer. Dans cet appareil (*fig.* 112) la cheminée en verre est surmontée d'une cheminée en tôle, percée de petits trous coniques pour arrêter le vent. La lanterne est munie d'un réflecteur en porcelaine.

Dans le cas où la lanterne comporte plusieurs brûleurs, on ajoute un second porte-flamme pouvant se déplacer horizon-

talement. Le premier sert à allumer un des becs; le second, en tournant autour d'un axe vertical, allume les autres. Il devient alors très facile de mettre en service un ou plusieurs brûleurs suivant les besoins.

Le système d'allumage par rampe latérale ou par l'étincelle électrique (*fig.* 113) donne également de bons résultats.

Enfin on a imaginé un procédé fort simple d'allumage rapide dit à la *cuillère*. Au-dessus du bec on dispose une coupe renversée, ou cuillère, amenant le gaz extérieurement par un ajutage horizontal. Il suffit, pour allumer le brûleur, d'ouvrir en grand le robinet et d'enflammer le jet gazeux par l'ajutage extérieur (*fig.* 114). La flamme se communique jusque sous le manchon. Ce système est le plus répandu, bien qu'il ait l'inconvénient de provoquer une petite explosion et d'être d'un emploi difficile pour les brûleurs placés à une certaine hauteur.

CHAPITRE VIII

GAZ SPÉCIAUX

§ 1. — ACÉTYLÈNE

107. Carbure de calcium. — *Fabrication.* — Parmi les gaz d'éclairage obtenus avec d'autres substances que la houille, il convient de citer l'acétylène, un des plus importants, bien que le plus récent. Sa fabrication industrielle est obtenue en décomposant, par l'eau, un corps particulier, le carbure de calcium. Il faut d'abord, pour pouvoir fabriquer le gaz, préparer d'une manière courante le composé qui lui donne naissance. Le procédé actuel, dû à MM. Moissan et Bullier, consiste à fondre au four électrique un mélange de chaux et de charbon (56 parties de chaux, 35 de coke) pulvérisés. La réaction est fort simple :

$$CaO + 3C = CaC^2 + CO;$$

il suffit de faire passer le courant, le mélange entre en fusion, et l'oxyde de carbone brûle avec une flamme bleue pendant la formation du carbure.

Les fours employés sont de deux sortes : ceux où la matière à traiter est placée dans le voisinage de l'arc, soit à l'une des électrodes, soit tout près, mais pas en contact avec lui ; et ceux dans lesquels le mélange est intercalé entre les deux charbons.

Fours. — L'application du premier procédé a été faite par M. Moissan. Son four à réverbère se compose de deux briques de chaux bien dressées et appliquées l'une contre l'autre. Celle du bas porte une cavité servant de creuset où se loge la

matière à traiter ; elle est percée, en outre, de deux fentes recevant les électrodes en charbon (*fig.* 115). On établit le courant en réunissant d'abord les deux électrodes que l'on sépare ensuite progressivement pour former l'arc en maintenant l'intensité constante. Dans des fours de 22 à 25 centimètres de long sur 15 à 18 centimètres de large, on peut faire passer un courant de 450 ampères sous 75 volts. La température obtenue est voisine de 3.500°.

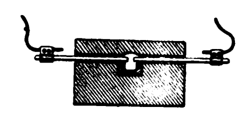


Fig. 115. — Four Moissan.

Le deuxième procédé de fusion a été appliqué à l'usine de *Froges*. Un bloc de graphite entouré d'un revêtement en fonte est percé d'une cavité qui reçoit le mélange ; elle est munie de deux orifices, l'un pour le chargement, l'autre pour la coulée. La masse de graphite forme un parallélipipède de $1,80 \times 1,50 \times 1,50$, qui sert d'électrode négative ; la seconde est constituée par un crayon vertical de 20 centimètres de côté, serré dans une mâchoire à quatre griffes mue par engrenage. Pour la mise en marche, on forme l'arc entre la masse et le crayon en réglant l'intensité d'après les oscillations de l'ampèremètre. Quand la réaction est terminée, on ouvre le trou de coulée, en même temps qu'on remplace la matière première par l'autre orifice. L'opération est continue, mais par charges successives seulement. C'est sur ce principe qu'ont été établis les fours de l'usine du Niagara.

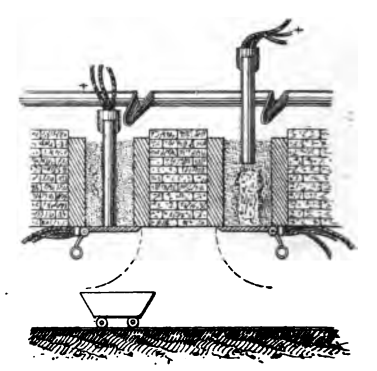


Fig. 116. — Four Bullier.

M. *Bullier* a également imaginé un four à section carrée (*fig.* 116). Les parois verticales sont en magnésie ; le fond, ou sole, est en fonte pouvant basculer autour d'un axe horizontal ; il forme l'électrode négative ; la positive est consti-

tuée par un crayon mobile touchant le fond et pouvant se soulever au fur et à mesure de la formation du carbure. La matière à traiter est placée tout autour de ce crayon. A la fin de l'opération, on trouve un bloc de carbure qu'on fait tomber dans un wagonnet, et on recharge à nouveau.

Le rendement des fours est de 4 kilogrammes par cheval et par jour. A l'usine de la *Spray* (Caroline du Nord), où des expériences spéciales ont été effectuées, on a reconnu qu'avec un courant de 1.690 ampères sous 100 volts, soit 230 chevaux

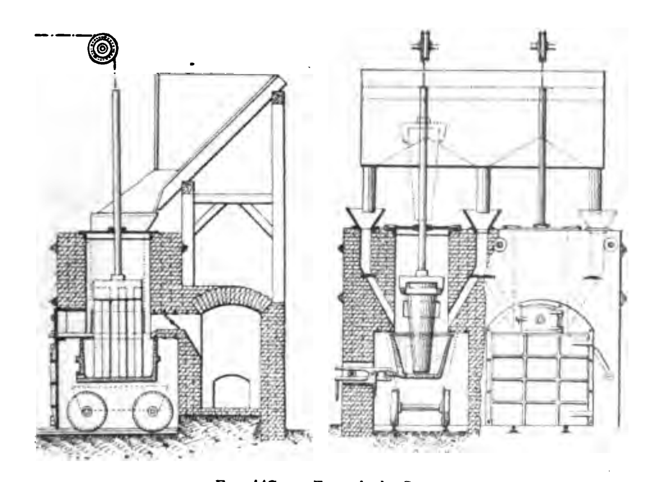


FIG. 117. — Four de la Spray.

on pouvait traiter 892 kilogrammes de matière en deux heures quarante minutes et obtenir 87 kilogrammes de carbure correspondant à 10 0/0 du poids de la matière première. Le four est formé par une cavité dont le fond en fonte constitue l'électrode négative; la positive est réalisée par six crayons donnant un charbon de $0^m,91$ de long sur $0^m,75$ de large et $0^m,20$ d'épaisseur qui traverse le couvercle du four. La matière est tassée tout autour. L'opération terminée, il suffit de faire basculer le carbure dans un wagonnet. L'appareil est, en outre, muni de deux cheminées pour l'échappement de l'oxyde de carbone (*fig.* 117).

Propriétés. — Le carbure de calcium est un corps solide, cristallin, d'un gris noirâtre mordoré, d'odeur forte. Sa densité est 2,22 ; il renferme 62,50 de calcium et 37,5 de carbone ; il est très clivable. Sa formation est endothermique, c'est-à-dire qu'elle exige de la chaleur, $0^{cal},65$; insoluble dans les divers réactifs, dans le pétrole, la benzine, il est attaqué par les acides, les oxydes; mais c'est surtout au contact de l'eau que sa décomposition est rapide; il suffit de projeter dessus quelques gouttes pour produire une vive effervescence avec dégagement d'acétylène et formation de chaux :

$$CaC^2 + H^2O = C^2H^2 + CaO.$$

On peut se baser sur cette propriété pour déshydrater l'alcool ou l'ammoniaque.

Le gaz obtenu C^2H^2 est l'acétylène: 1 kilogramme de carbure dégage de cette façon 340 litres d'acétylène, mais ce rendement est diminué par les impuretés du carbure. Exposé à l'air humide, il se décompose superficiellement, car la couche de chaux qui se forme le protège contre la vapeur d'eau.

Cette dernière, au rouge sombre, attaque plus lentement le carbure ; il se forme, en effet, une couche de charbon et de carbonate qui limite l'action de la vapeur; le dégagement d'acétylène mélangé d'hydrogène est alors plus lent.

Le carbure du commerce n'est jamais pur ; en effet la chaux qui sert à sa fabrication renferme déjà des phosphates, des silicates et des sulfates ; le charbon, des arséniures, des sulfures, des siliciures ; il en résulte que, dans sa décomposition par l'eau, on retrouve les composés hydrogénés correspondants.

La fabrication de l'acétylène se fera donc en faisant tomber le carbure de calcium dans l'eau, ou, réciproquement, en versant de l'eau sur le carbure de calcium. La réaction ayant lieu avec un dégagement de chaleur d'autant plus considérable que la quantité d'eau est faible, le premier procédé paraît le plus normal, car, tout en facilitant le refroidissement du gaz, qui ne doit jamais être à plus de 50 à 60°, il permet, en outre, la dissolution des composés étran-

gers qui l'accompagnent, entre autres de l'ammoniaque. La seconde méthode, quoique moins bonne, car il en peut résulter une augmentation accidentelle de pression est la plus répandue ; il est en effet plus facile de régler l'écoulement du liquide que celui du calcium, mais il faut éviter alors l'échauffement et la surproduction.

La fabrication peut se faire de trois façons : 1° à une pression légèrement supérieure à la pression atmosphérique ; 2° à une pression plus élevée, augmentant progressivement jusqu'à la liquéfaction ; 3° en vue d'obtenir l'acétylène liquide.

108. Fabrication de l'acétylène à basse pression. — *Appareil Trouvé.* — Les appareils de ce groupe produisent le gaz d'une façon régulière suivant la consommation; ils comportent tous un gazogène avec ou sans gazomètre distinct.

Dans l'appareil Trouvé basé sur le principe du briquet à hydrogène, le générateur est constitué par un vase renfermant l'eau qui peut pénétrer, par un orifice inférieur, dans un second vase concentrique au premier. Ce second récipient contient un panier grillagé plein de carbure de calcium. De sa partie supérieure part un tube qui amène le gaz sous la cloche du gazomètre. Le fonctionnement est fort simple ; l'acétylène formé se dégage sous le gazomètre jusqu'au moment où la pression devient assez considérable pour chasser l'eau du panier et la refouler le long du cylindre extérieur du gazogène. L'inconvénient est que, la vapeur d'eau continuant d'attaquer le carbure, il y a toujours dégagement de gaz, et la pression peut devenir suffisante pour chasser l'acétylène par l'orifice inférieur d'admission d'eau. On peut y remédier en partie au moyen d'un robinet interceptant la communication entre le gazogène et le gazomètre, lorsque ce dernier est plein, ce dont on est averti par une sonnerie électrique. En second lieu, on dispose le carbure par couches séparées au moyen de rondelles de verre. De cette manière on rendra l'attaque progressive et on réduira la surproduction.

Appareil de la Société du Gaz acétylène. — Le principe

repose sur l'équilibre de pression qui s'établit entre deux vases communiquants. Le gazogène en tôle galvanisée est plongé dans une cuve de même nature remplie d'eau ; il est en deux parties (*fig.* 118), réunies au moyen de vis serrées par des écrous à oreilles.

L'eau pénètre dans le bas par des trous d'admission, monte dans le tube du milieu et, arrivée à l'extrémité supérieure, se déverse sur un panier rempli de carbure L'échappement du gaz a lieu par un tube central communiquant avec le gazomètre. On comprend aisément qu'on puisse régler le dégagement à la pression qu'on désire ; il suffira pour cela d'abaisser plus ou moins le tube d'ascension pour que le déversement de l'eau ait lieu à une pression plus ou moins élevée. On admet généralement, comme valeur de la pression, 0m,20.

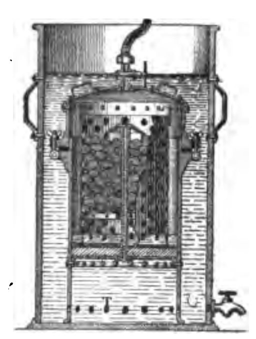


Fig. 118. — Appareil de la Société du gaz acétylène.

Appareil Fourchotte. — Pour restreindre l'emploi des robinets, pouvant toujours occasionner des fausses manœuvres, M. Fourchotte a imaginé un appareil qui n'en possède qu'un seul pour la vidange du gazogène. Ce dernier est formé de deux cylindres concentriques A et B, entre lesquels circule un courant d'eau formant joint hydraulique et refroidissant le gaz produit. Le seau qui contient le carbure est divisé en une série de compartiments, de manière à rendre plus lente l'attaque par l'eau.

Le gazomètre comporte une cloche réglant automatiquement la production du gaz. A cet effet, elle porte un tube Q muni d'ouvertures *a* (*fig.* 119) télescopant sans frottement sur un deuxième tube R fixé à la cuve et communiquant avec un conduit vertical SS relié lui-même par un tube horizontal avec le tuyau d'amenée d'eau S'S' au générateur. Le tuyau horizontal SS' est au-dessus du niveau de l'eau. Le fonctionnement est, dès lors, facile à expliquer.

Tant que les ouvertures *a* sont au-dessus de l'eau, la pres-

sion est la même sous la cloche et dans le tube Q, c'est-à-dire supérieure de quelques centimètres à la pression atmosphérique ; par suite, l'eau ne monte dans le tube SS que fort peu au-dessus du niveau de la cuve. Si, au contraire, la cloche s'abaisse, les trous *a* sont obstrués, et la pression s'élève en Q suffisamment pour faire monter l'eau jusqu'en SS′, de manière à l'envoyer dans le gazogène ; il y a, de nouveau, dégagement d'acétylène par M et, par suite, ascension de la cloche.

Le gazomètre est à courant d'eau continu ; dans ce but, le tube R entoure un second tube F qui sert de trop-plein. L'eau coule constamment par V en mince filet et s'échappe par F, d'où elle se rend au joint hydraulique du gazogène et, de là, au barillet N, par l'intermédiaire du tube G. L'excès d'eau du barillet s'échappe par un tuyau spécial P qui maintient le niveau de l'eau constant.

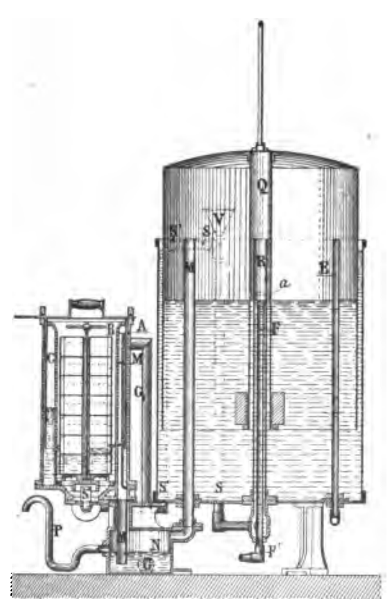


Fig. 119. — Appareil Fourchotte.

Appareil de Resener et Luchaire. — C'est la pression qui règle l'admission dans le gazogène par l'intermédiaire d'un régulateur formé par une cloche renversée sur la cuve même du gazomètre. Cette cloche, de dimensions réduites, est solidaire, au moyen d'une poulie de renvoi, des mouvements de celle du gazomètre ; elle communique avec la partie supérieure du générateur par un tube souple.

Le fonctionnement est fort simple. Si la quantité de gaz

consommé augmente, la cloche du gazomètre baisse, et celle du régulateur, au contraire, monte, diminuant la pression dans le gazogène, par suite de l'augmentation de volume. Il y a admission d'eau, production d'acétylène, jusqu'à ce que la cloche du régulateur, descendant de nouveau, donne une augmentation de pression suffisante pour chasser l'eau du gazogène. Cette dernière peut provenir d'un réservoir auxiliaire ou même de la cuve du gazomètre ; il n'y a qu'un robinet monté sur cette conduite d'admission d'eau et manœuvré seulement au moment du remplacement du carbure du gazogène.

Il y a encore un certain nombre de systèmes, comme ceux de M. Holiday et de M. Gillet, où la pression règle l'attaque de l'eau ; mais, comme ils sont dépourvus de gazomètre, l'échauffement du gaz n'est pas évité.

Appareils Lequeux-Wiesnegg, Letang-Serpollet. — Dans les

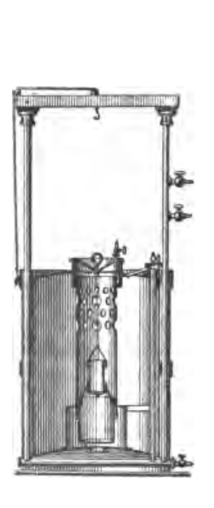




Fig. 120. — Appareil Lequeux-Wiesnegg.

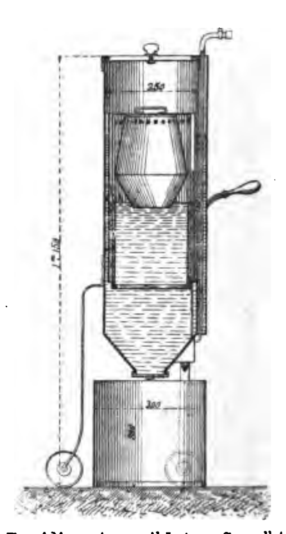


Fig. 121. — Appareil Letang-Serpollet.

appareils de cette série, la cloche du gazomètre porte elle-

même le panier à carbure et, en se soulevant, empêche l'attaque de se produire. Ce sont des appareils de faibles dimensions facilement transportables.

Dans le système *Lequeux-Wiesnegg* (*fig.* 120), la cloche du gazomètre porte à sa partie supérieure une large ouverture fermée par un bouchon hydraulique. La cloche étant au bas de sa course, la cuve est remplie d'eau ; le panier contenant le carbure est introduit par l'ouverture qu'on referme aussitôt. L'acétylène, en se dégageant, fait monter la cloche et, par suite, le panier qui ne plonge plus dans le liquide. Il faut attendre l'épuisement du gaz pour que l'attaque ait lieu de nouveau. Pour simplifier l'appareil, le tube de dégagement se continue dans l'une des colonnes de guidage qui est mise en relation avec la conduite générale. Un seau au-dessous du panier reçoit la chaux provenant de la décomposition. Cet appareil sert spécialement aux éclairages intermittents.

Le système *Serpollet-Letang* (*fig.* 121), employé aux essais d'éclairage des voitures omnibus, comporte un réservoir cylindrique à base conique, fermé à sa partie inférieure par un tampon et dans le haut par un couvercle à joint assez hermétique. Une cloche pouvant monter et descendre librement dans le réservoir rempli d'eau renferme le panier à carbure maintenu en place contre les montants par des mentonnets à ressorts. Elle règle le débit de l'acétylène qui, au fur et à mesure de sa production, se rend, par l'intermédiaire d'un tube en **U**, muni d'un condenseur à la canalisation générale. Avec 5 kilogrammes de carbure, on pouvait produire $1^{m^3},5$ de gaz, sans avoir à toucher à l'appareil. La chaux était recueillie dans un seau qu'on roulait sous le cylindre principal.

Un très grand nombre d'appareils analogues (D'Arsonval, Gabe) ont été imaginés depuis, mais le principe est le même et ne présente rien de spécial.

Appareil Cerckel. — Il diffère des précédents en ce que l'attaque du carbure par l'eau est réglée par le déplacement même de la cloche du gazomètre qui, en agissant sur un robinet, arrête toute communication entre le générateur et le gazomètre. Dans cet appareil le carbure est disposé en

une série de paniers superposés sous le gazogène (*fig.* 122).

L'eau est fournie par un réservoir supérieur avec robinet d'arrêt à la main. Elle arrive au-dessous d'une soupape en caoutchouc qu'elle soulève pour entrer dans le générateur. Quant au gazomètre, il porte, sur une des tiges de guidage, un levier actionnant le robinet d'introduction du gaz. Le fonctionnement est fort simple. Lorsque la cloche se soulève par trop, elle vient buter contre ce levier arrêtant l'admission de l'acétylène. La pression, s'élevant dans le générateur, chasse l'eau jusqu'à ce que la soupape ferme complètement l'orifice d'entrée, empêchant ainsi tout dégagement de gaz dans le

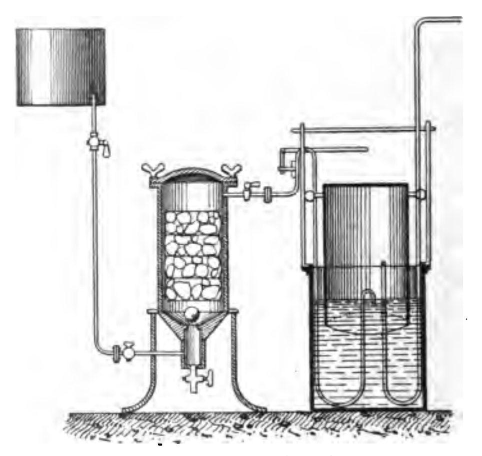


Fig. 122. — Appareil Cerckel.

réservoir. En redescendant, la cloche ouvre le robinet, et le fonctionnement recommence comme précédemment.

Appareils Clauzolles, Leroy et Janson. — Le système *Clauzolles* est basé sur le même principe; toutefois la cloche agit sur le robinet d'admission d'eau ; le fonctionnement est moins bon que le précédent, car il peut se produire une surpression dans le gazogène. La manœuvre du robinet se fait au moyen d'une chaîne dont les mouvements sont solidaires de ceux de la cloche.

Le principe de l'appareil *Leroy et Janson* est à peu près identique. Il y a deux gazogènes, avec un réservoir unique, contenant l'eau nécessaire à un seul générateur. Il faut donc la renouveler après l'épuisement du calcium d'un de ces derniers. La cuve du gazomètre porte un robinet fixe communiquant, d'un côté, avec le réservoir d'eau par l'intermédiaire d'un tube flexible, de l'autre, avec un tuyau aboutissant aux robinets des gazogènes. Ce robinet a un levier qui se ferme sous l'action d'un ressort ; il s'ouvre, au contraire, quand il rencontre les crans d'une échelle mobile avec la cloche du gazomètre. L'eau est introduite d'abord par l'un des robinets, le second n'étant ouvert à la main qu'après épuisement du premier générateur. Le tuyau de dégagement du gaz porte dans le bas un robinet de purge, et à la partie supérieure un autre robinet de sûreté, que la cloche ouvre lorsque, accidentellement, elle s'élève jusqu'au haut, c'est-à-dire en cas de non-fonctionnement du robinet principal. Le gaz, alors en excès, est dirigé par un tube spécial dans l'atmosphère. Une sonnerie, au moyen d'un contact, indique, en outre, que la cloche est complètement descendue, c'est-à-dire que l'un des gazogènes est vide.

Appareil Dickerson. — Pour n'introduire à chaque fois qu'une quantité d'eau déterminée, incapable de produire un

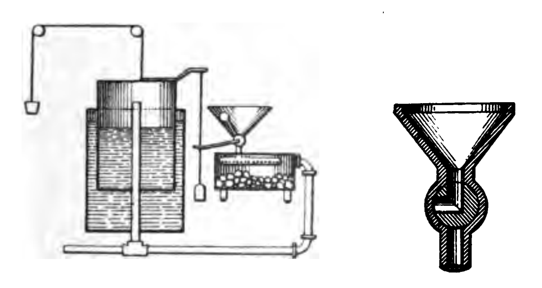


Fig. 123. — Appareil Dickerson.

excès d'acétylène, M. Dickerson emploie un robinet spécial placé à la base même du réservoir d'eau et muni d'un con-

trepoids qui en détermine l'ouverture et la fermeture brusque (*fig.* 123). Il est percé de deux canaux rectangulaires pouvant recevoir la quantité d'eau nécessaire; de cette façon on ne met jamais en communication directe le réservoir et le gazogène ; le déplacement du robinet n'est que de 90°. Le fonctionnement de l'appareil est le même que précédemment; l'eau tombe sur le carbure au moyen d'un distributeur.

Au lieu de faire commander directement le robinet par la cloche, M. Dickerson préfère employer une transmission intermédiaire qui différentie son appareil des précédents.

Appareils Bon, Souriou. — Le premier est basé sur le principe de la manœuvre du robinet par la cloche elle-même, mais il est plus complet que les précédents. L'eau est admise en petite quantité d'un réservoir supérieur par l'intermédiaire d'un siphon qui, tout en formant joint étanche, permet d'en surveiller l'écoulement à son passage à un entonnoir. Le gazogène est formé par une caisse avec couvercle à joint hydraulique divisée en plusieurs compartiments par des cloisons; chaque casier communique avec le suivant par une encoche pratiquée à la partie supérieure; il renferme une quantité de carbure correspondant, à la capacité du gazomètre. Le réglage du débit se fait au moyen d'un robinet à contrepoids dont la tête repose sur la cloche du gazomètre La cloche, dans ses mouvements, ouvre ou ferme graduellement ce robinet.

L'acétylène produit se rend sous le gazomètre par l'intermédiaire d'un tuyau plongeant de quelques centimètres dans l'eau. Outre le refroidissement qui en résulte, le gaz se débarrasse encore de l'ammoniaque qu'il renferme. A sa sortie, il traverse un nouvel épurateur rempli de chlorure de calcium et de pierre ponce imbibée de sulfate de cuivre qui enlève à l'acétylène son phosphure d'hydrogène.

Au lieu d'avoir un seul générateur, M. *Souriou* a imaginé d'en disposer autour du gazomètre toute une série attaqués à tour de rôle et renfermant le carbure nécessaire à un seul remplissage de la cloche. La distribution d'eau à chaque récipient a lieu successivement au moyen d'un organe spécial. De cette façon, il n'y a jamais surproduction.

Appareil Beau et Bertrand Taillet. — Il est basé sur un principe très rationnel ; au lieu d'envoyer l'eau sur le carbure, c'est le carbure qui est projeté dans l'eau. De cette façon, on diminue l'élévation de température. Il se compose (*fig.* 124) de deux cuves concentriques A et B et d'une cloche C se mouvant dans l'espace annulaire des deux précédentes. Sous le couvercle de la cloche sont suspendus des tubes mobiles *a* fermés par un tampon à contrepoids, et renfermant chacun environ 2 kilogrammes de carbure. On met quatre ou sept tubes suivant l'importance du gazomètre. La cloche se complète d'une soupape de sûreté et d'un bouchon servant à l'introduction de quelques morceaux de carbure pour l'amorçage

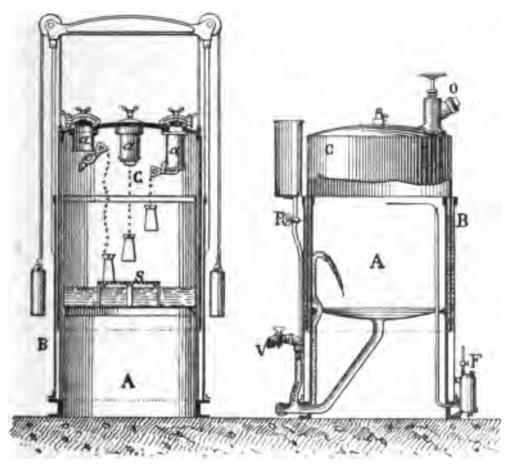


Fig. 124. — Appareil Beau et Bertrand Taillet.

de l'appareil. L'eau nécessaire à la décomposition provient d'un réservoir latéral muni d'un robinet à main R; un second robinet extérieur F permet de purger la cloche et de chasser les premières bulles d'air et d'acétylène mélangés. Le fonctionnement est fort simple. Quand la cloche est descendue, le premier tube *a* bute contre un support fixe S, et la soupape correspondante s'ouvre, laissant tomber son carbure

dans l'eau; la cloche remonte momentanément. Il en est de même pour les autres tubes. Le chargement peut se faire pendant la marche. Quant à l'eau de chaux, il est facile de l'enlever au moyen du robinet de vidange V. La température ne dépasse pas 33 à 35°.

Appareils Maréchal, Bonneau. — Il est possible de produire l'écoulement du carbure d'une façon analogue à celle de l'eau, mais à la condition de le pulvériser. Dans l'appareil *Maréchal* (*fig.* 125) le carbure est contenu dans une trémie A dont le déversoir est fermé par un robinet à augets R actionné par une tige *tt* au moyen d'une roue dentée. La roue est mise en mouvement par une crémaillère montée sur un piston P qui s'élève ou s'abaisse, suivant que la pression dans le réservoir est plus ou moins forte que celle d'un ressort contenu dans le cylindre D. Ce piston commande, en outre, au moyen de deux tiges *r* et *s*, l'orifice du déversoir.

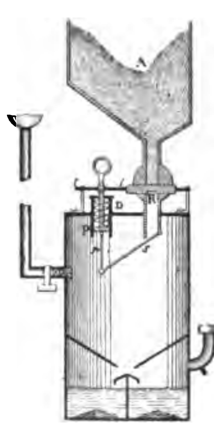


Fig. 125. — Appareil Maréchal.

Avec le système *Bonneau* (*fig.* 126) la modification est plus importante; le carbure est contenu dans un réservoir solidaire de la cloche du gazomètre, il est fermé par un bouchon conique monté sur un poids placé au bout d'une tige rigide assez longue. Lorsque la cloche descend, le poids bute contre le fond de la cuve; le bouchon se soulève, laissant écouler une certaine quantité de carbure. En remontant, la cloche entraîne le contrepoids et l'orifice est fermé. Le fonctionnement est très simple et très régulier.

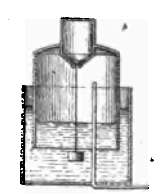


Fig. 126. — Appareil Bonneau.

109. Fabrication de l'acétylène à pression élevée. — *Appareil Ducretet et Lejeune.* — Les appareils de cette catégorie sont moins nombreux ; les uns débitent le gaz automatique-

ment suivant les besoins, d'autres fabriquent le gaz d'une façon intermittente. L'appareil Ducretet et Lejeune, du premier groupe, comporte deux récipients A, B (*fig.* 127). Le premier, qui renferme le carbure, est muni d'un couvercle à joint hermétique; le second contient la quantité d'eau nécessaire à la décomposition de la provision de carbure. Ces deux réservoirs peuvent être réunis directement par une pièce spéciale munie de deux tubes. L'eau arrive par le tube *t*, et le gaz se dégage par *t'*. La prise de gaz a lieu en V.

L'arrivée de l'eau est réglée par un tampon placé sur un levier actionné, d'une part, par un ressort *r* et, de l'autre, par une membrane élastique *m* sur laquelle

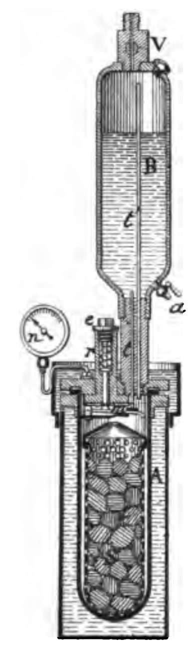


Fig. 127.
Appareil Ducretet et Lejeune.

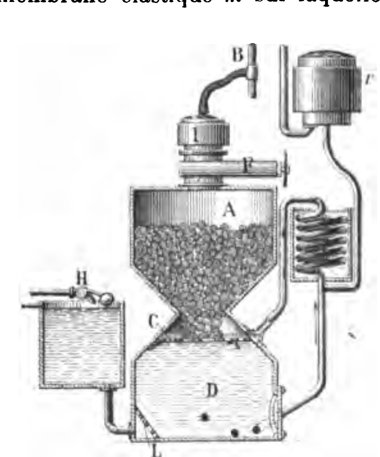


Fig. 128.
Appareil Dickerson.

agit le gaz. Suivant la prépondérance de l'une ou l'autre action, le passage de l'eau se trouve ouvert ou fermé. La tension du ressort se règle au moyen d'un écrou extérieur *e*; de cette façon, il est facile de fixer la valeur de la pression.

Le carbure est enfermé dans des paniers S, contenus dans

le réservoir A qui, à son tour, est plongé dans un réfrigérant. Un manomètre *n* indique la pression.

Appareil Dickerson. — Son principe est celui du briquet à hydrogène, c'est-à-dire que la pression elle-même règle l'attaque du carbure par l'eau. Le gazogène est constitué par un réservoir cylindrique A terminé à la partie supérieure par une fermeture à vis étanche F. Pour plus de sûreté, elle est surmontée d'une cloche à joint hydraulique I qui évacue le gaz dans une cheminée B. La partie inférieure va en se rétrécissant, présentant au bas un grillage C sur lequel repose le carbure. Le réservoir est renversé sur une cuve à eau D alimentée par une bâche (*fig.* 128).

Le tuyau de prise de gaz est branché sur le réservoir dans le voisinage de la grille ; il se continue ensuite dans un réfrigérant en forme de serpentin. La vapeur qui se condense retombe dans la cuve D. La sortie du gaz est fermée par un régulateur *r*. Lorsque la pression devient trop élevée, l'eau est alors refoulée dans la cuve à eau D. Il faut que l'espace libre de D soit suffisant pour recueillir le gaz qui se dégage. Du reste, s'il y a excès de pression, le gaz s'échappe dans la cheminée de sûreté.

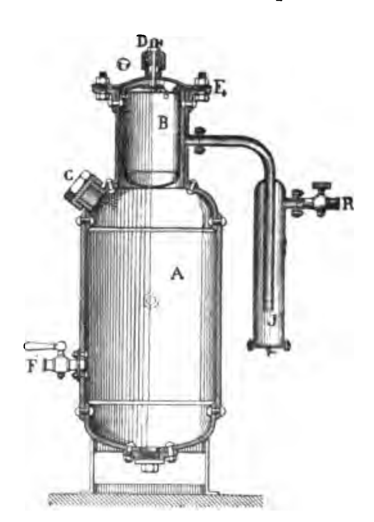


Fig. 129. — Appareil Bullier.

L'alimentation d'eau suit les variations du débit gazeux ; elle est réglée au moyen d'un robinet à flotteur H. Enfin la chaux, résidu de l'opération, se dépose dans la cuve ; un tamis L l'empêche de pénétrer dans la bâche de manière à ne pas obstruer l'arrivée de l'eau.

Appareil Bullier (*fig.* 129). — Il se compose d'un cylindre A

en acier coulé, mobile autour de deux tourillons pour faciliter le nettoyage ; on le remplit d'eau jusqu'aux deux tiers de sa hauteur. Le carbure est placé dans un panier perforé B qu'on enfonce progressivement en agissant sur une tige D débouchant à l'extérieur, à travers un presse-étoupe. L'orifice de chargement est fermé par un joint en caoutchouc avec écrous E. Une tubulure C permet l'introduction de quelques morceaux de carbure pour l'amorçage; on purge le réservoir au moyen d'un robinet F. Le gaz, à sa sortie du générateur, traverse un dessiccateur J, au fond duquel se rassemblent les gouttes d'eau entraînées. On règle l'opération, sur les indications d'un manomètre, en enfonçant plus ou moins le panier ou en ouvrant le robinet de purge F pour diminuer la pression, s'il est nécessaire.

Le récipient d'acétylène comprimé se visse à l'extrémité du tube R. Le fonctionnement de cet appareil a lieu d'une façon intermittente.

110. Fabrication de l'acétylène liquide. — *Appareil Dickerson et Suckert.* — On peut obtenir la liquéfaction de l'acétylène par sa propre pression combinée avec l'action d'un mélange réfrigérant. L'appareil Dickerson et Suckert est basé sur ce principe. Il se compose d'un générateur A_1 en fer forgé, entouré d'eau (*fig.* 130). Cette dernière est distribuée par une rampe b_1 sur le carbure déposé en couche mince. Elle provient d'un réservoir spécial avec robinet *a*. L'acétylène produit circule d'abord dans un serpentin B où l'eau de condensation est recueillie dans un réservoir E ; il passe ensuite dans un dessiccateur F contenant du chlorure de calcium déposé sur des tablettes, qui enlève les dernières traces d'humidité ; enfin la liquéfaction a lieu dans un second serpentin D entouré d'un mélange réfrigérant. Le liquide formé est recueilli dans un réservoir I, d'où il est transvasé dans des accumulateurs spéciaux. Les gaz qui accompagnent l'acétylène, étant moins facilement liquéfiables, s'accumulent en I; de temps à autre, on les évacue en ouvrant un robinet. Les réservoirs et les serpentins sont plongés dans des bâches à circulation d'eau froide pour le refroidissement du gaz.

Pour rendre l'opération continue, on ajoute un second générateur A_2; pendant que l'un est en service, l'autre est en

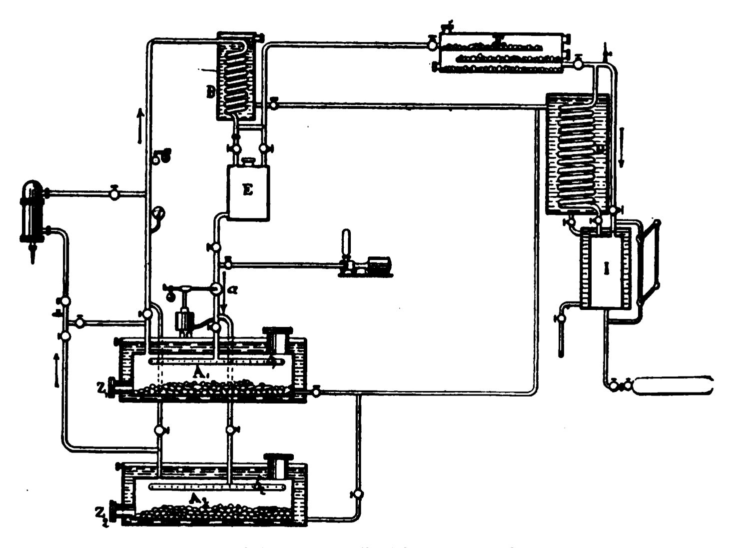


Fig. 130. — Appareil Dickerson et Suckert.

chargement. Des tampons de vidange Z_1Z_2 permettent de retirer la chaux provenant de la décomposition du carbure.

Appareil Raoul Pictet. — La liquéfaction est obtenue au moyen de compresseurs. La préparation de l'acétylène étant faite à basse température, le gaz est recueilli sous un gazomètre dont l'eau est constamment renouvelée. Il a traversé, au préalable, des bonbonnes épuratives contenant : la première, du chlorure de calcium à — 20°, enlevant l'ammoniaque et ses composés ; la seconde, de l'acide sulfurique à — 40°, absorbant l'humidité ; et, enfin, la troisième, des sels de plomb qui achèvent la purification. Le gazomètre a une capacité de 100 mètres cubes pour une production journalière de 1.000 kilogrammes de liquide. Des compresseurs en cascade entourés d'eau compriment le gaz dans un serpentin refroidi par un mélange réfrigérant (acide sulfureux et acide carbo-

nique liquides), dont la température varie de — 20 à — 50°. Les réfrigérants sont à circulation continue, de manière à faire servir le gaz indéfiniment.

Bonbonnes à acétylène liquide. — Elles doivent être très solides pour pouvoir résister à la pression considérable de l'acétylène dont le coefficient de dilatation est très élevé. On les fait en acier au nickel pouvant résister à 250 atmosphères. Elles affectent la forme d'un cylindre terminé par deux calottes sphériques. L'une d'elles, taraudée, reçoit un bouchon muni d'une soupape et d'un détendeur de pression, dont la valeur est indiquée par un manomètre (*fig.* 131). Pour les remplir, on ouvre la soupape et on place la bonbonne sur une balance; on arrête l'opération lorsqu'on a le poids voulu d'acétylène. Leur capacité est de 13 à 14 litres, mais on ne les remplit qu'aux deux tiers, c'est-à-dire lorsqu'elles renferment 3 à 4 kilogrammes d'acétylène; le poids total est de 21 à 22 kilogrammes. La pression intérieure dans ces conditions ne serait que 40 à 50 atmosphères. La manœuvre du détendeur étant assez délicate, dans bien des cas on préfère vider complètement la bouteille sous un gazomètre qu'on remplit à intervalles plus ou moins rapprochés.

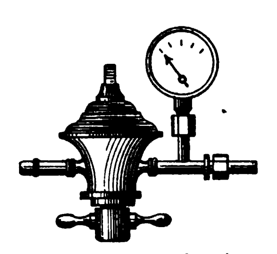


Fig. 131. — Détendeur de pression.

111. Propriétés de l'acétylène. — *Propriétés physiques.* — L'acétylène C^2H^2 est un gaz incolore, d'une odeur fortement alliacée renfermant en poids 92,3 0/0 de carbone et 7,7 0/0 d'hydrogène. Sa densité est de 0,92; le poids d'un litre est donc de $1^{gr},184$ à 0° et sous la pression de 760 millimètres. L'acétylène se dissout dans un très grand nombre de corps; l'eau en absorbe à peu près une fois son volume; l'alcool, six fois; l'acétone, trente et une fois.

Il se liquéfie facilement par la pression ou le froid. M. Villard a trouvé qu'il suffisait d'une pression de $2^{atm},22$ à

— 70° pour le rendre liquide; à 0°, la pression atteint $26^{atm},05$. Son point critique est 37° avec une pression correspondante de 67 atmosphères. L'acétylène liquide est extrêmement mobile, très réfringent et très transparent. C'est le liquide le plus léger; 1 litre à 0° pèse seulement 415 grammes. Son coefficient de dilatation est très élevé; en se solidifiant, il se contracte encore, et son volume serait alors moitié de celui à 15°.

Propriétés chimiques. — L'acétylène prend naissance dans un grand nombre de circonstances : lorsqu'on chauffe au rouge des vapeurs d'alcool, d'éther et de pétrole; dans le cas où un composé organique brûle d'une façon incomplète, et enfin lorsqu'on soumet les vapeurs de ce composé à l'influence d'étincelles électriques. C'est un corps endothermique, c'est-à-dire que l'union de ses éléments, carbone et hydrogène, est accompagnée d'une absorption de chaleur, $60^{cal},5$. Sa chaleur de combustion est de $318^{cal},5$.

Soumis à l'action de la chaleur, il se décompose en donnant des produits polymères, ce qui explique pourquoi on doit éviter l'échauffement du gaz pendant sa formation. L'étincelle d'induction produit le même effet. La décomposition peut être encore obtenue au moyen d'un choc violent amené par la détonation d'une petite cartouche de fulminate. Tous les corps avides d'hydrogène, comme le chlore, le brome, réagissent sur lui.

Les acides sulfurique, cyanhydrique, se combinent avec l'acétylène pour donner des composés spéciaux.

L'acétylène est sans action sensible sur les métaux à l'état ordinaire, tels que le cuivre, le plomb, l'étain ; mais, quand on fait passer un courant d'acétylène dans une dissolution ammoniacale d'un sel de cuivre au minimum, il se forme un précipité rouge marron d'acétylure de cuivre. C'est le réactif par excellence de l'acétylène ; on peut, de cette façon, en déceler un deuxcentième de milligramme dans de l'hydrogène. D'après M. Bullier, la formation d'acétylure de cuivre n'aurait lieu qu'avec l'oxyde de cuivre au minimum. Il n'y a donc pas lieu de craindre l'attaque des conduits par ce gaz.

Explosibilité. — Toxicité. — L'acétylène étant endothermique peut faire, en principe, explosion sous l'action d'un choc violent ou d'un détonateur; mais les causes susceptibles d'amener cette décomposition ne sont pas celles de la pratique; il paraît n'y avoir aucun danger de ce côté. Des expériences directes ont montré que, jusqu'à 8 ou 10 kilogrammes, un réservoir pouvait être soumis au choc d'un poids ou traversé par un projectile sans inconvénient. Il n'en est plus de même pour le gaz comprimé et surtout liquéfié; il suffit de la moindre étincelle à l'intérieur pour provoquer l'explosion de toute la masse. Les bouteilles qui renferment le liquide sont soumises aux mêmes causes d'accident que celles des autres gaz comprimés : c'est-à-dire remplissage exagéré, élévation anormale de température, défaut dans le métal, etc.

Comme tous les carbures gazeux, il forme avec l'air un mélange détonant, qui atteint son maximum à 1 volume de gaz pour 9 volumes d'air. L'explosion est plus vive et plus brisante qu'avec les autres gaz. On comprend tout l'intérêt qu'il y a à empêcher ce mélange de se produire.

Au point de vue de la toxicité, les dangers sont moindres qu'avec le gaz d'éclairage : une atmosphère contenant 20 0/0 d'acétylène n'est pas toxique; il faut atteindre 40 0/0 pour occasionner la mort d'un chien. L'élimination de ce gaz du sang se fait très rapidement.

Combustion de l'acétylène. — L'acétylène brûle au contact de l'air en donnant une flamme blanche très éclairante; il prend feu à 500°, tandis que la plupart des autres gaz ne s'enflamment qu'à 600°. Le mélange inflammable avec l'air est compris entre 2,8 et 65 0/0, tandis que le gaz d'éclairage ne commence à brûler qu'à 8,1 0/0 d'air. Naturellement plus la proportion de ce gaz est grande, plus la flamme est éclairante; à partir de 20 0/0, elle devient fuligineuse.

Sa puissance calorifique est plus élevée que celle des composés similaires, comme l'éthylène, le formène; il dégage 12.200 calories par kilogramme; la température de combustion atteint, d'après Le Chatelier, 2.400°. Toutefois, à éclairement égal, l'acétylène dégage moins de chaleur; en effet, pour produire la carcel, il faut 7 litres de ce gaz qui

donnent 98 calories, tandis que, pour le gaz ordinaire, il faut compter 25 litres, soit 125 calories. Brûlé avec son volume d'oxygène, il atteindrait la température de 4.000°, en donnant des gaz réducteurs formés d'hydrogène et d'oxyde de carbone. Ce dernier composé se produit également dans le cas d'une combustion incomplète.

Il a un très grand pouvoir éclairant dû à sa richesse en carbone, à sa température élevée et à son état endothermique qui facilite la décomposition rapide du carbure en ses éléments. Le tableau suivant, dû à M. Lewis, montre cette valeur comparativement à celle des autres gaz :

NATURE DES GAZ	POUVOIR ÉCLAIRANT EN CARCEL-HEURE par mètre cube
Méthane	3,5
Gaz de la Ville de Paris	9,5
Gaz de la Ville de Londres	11,5
Ethane	25,0
Propane	40
Ethylène	49
Butylène	86
Acétylène	168,0

Il éclaire donc quinze fois plus que le gaz de Paris ; d'après l'étalon de M. Violle, il faudrait compter vingt fois plus. Les produits de la combustion sont constitués par de l'eau et de l'acide carbonique, en proportion moindre qu'avec le gaz ordinaire. Il en résulte que ce mode d'éclairage vicie moins l'air que celui obtenu avec les autres gaz.

On peut brûler directement l'acétylène, mais il faut recourir à des brûleurs spéciaux, si on ne veut pas avoir une flamme rougeâtre et fuligineuse. On peut avoir encore avec les appareils ordinaires une lumière très éclairante, en ayant soin de le mélanger au préalable avec de l'air. Des gazomètres (Dickerson) ont été imaginés dans ce but ; mais ce procédé a un inconvénient grave, celui de donner naissance à un mélange explosif. M. Bullier a essayé, avec succès, le mélange avec un gaz inerte, l'azote, dans la proportion de 85 0/0

d'acétylène et 15 0/0 d'azote ; l'intensité lumineuse obtenue atteint encore 10 carcels par consommation de 90 litres. Il est à remarquer que les résultats sont moins bons avec de l'azote parfaitement pur. L'acide carbonique a été préconisé également, mais ce gaz est trop lourd, et le mélange est incomplet.

Enfin on pourrait s'en servir pour enrichir le gaz de houille ; toutefois il y a lieu de craindre que le mélange ne se fasse pas bien, de plus, qu'il puisse se produire une attaque du cuivre de la robinetterie en présence de l'ammoniaque du gaz ordinaire.

112. Brûleurs spéciaux. — La combustion de l'acétylène s'effectue généralement au moyen de becs fendus ou de becs Manchester. Quel que soit le modèle adopté, le gaz doit être débité sous une faible épaisseur et une forte pression. L'acétylène étant, en effet, deux fois plus lourd que le gaz ordinaire, la pression doit être assez grande pour lui donner une vitesse suffisante.

Les becs *papillons* donnent de bons résultats, à la condition d'avoir une fente suffisamment mince ; leur débit n'atteint alors que 30 à 40 litres ; il faut avoir soin de les nettoyer assez souvent. Beaucoup de constructeurs placent à l'intérieur du bec un petit tampon en toile métallique qui retient les impuretés. On emploie également avec succès des papillons à deux fentes parallèles ou à trois fentes radiales.

Les becs *Manchester* sont également utilisés : on les fait en stéatite ou en cuivre avec bouton en stéatite, le réglage en est assez délicat ; si la pression est trop faible, il se dégage de la fumée ; si, au contraire, elle est trop forte, ils donnent une flamme allongée peu éclairante ; cependant l'éclairage est plus régulier qu'avec les becs papillons. Les trous doivent avoir 1/10 à 3/10 de millimètre.

Les becs *bougies* employés sont de deux sortes ; l'orifice de sortie peut avoir un diamètre d'une certaine importance ou être constitué par un simple trou capillaire. Dans ce dernier cas, la flamme, en forme de dard, a une intensité limitée, et, pour avoir une certaine puissance, il faut réunir plusieurs de ces becs sur un même ajutage en forme de champignon ou de pomme d'arrosoir. Ces brûleurs à faible débit

s'obstruent rapidement. Pour remédier à cet inconvénient, M. *Fescourt* a imaginé un appareil dans lequel la manœuvre du robinet d'arrêt suffit pour nettoyer les brûleurs. A cet effet, chaque bec est traversé par une aiguille reposant sur une traverse qu'un ressort pousse contre un excentrique monté sur la clé. En tournant cette dernière, on enfonce les aiguilles dans les becs ; elles retombent ensuite sous l'action du ressort (*fig.* 132).

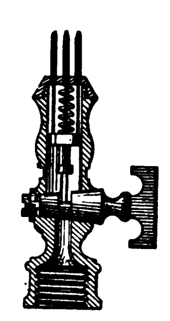


Fig. 132. Bec Fescourt.

Les becs bougies ont été combinés de manière à accroître encore la combustion. Dans le système *Ragot* (*fig.* 133), deux ajutages séparés envoient leur jet gazeux l'un contre l'autre ; on obtient la flamme plate d'un Manchester, tout en laissant un libre passage à l'air. Ces becs ont contre eux leur réglage difficile, à cause de la déformation des jets.

MM. *de Resener* et *Luchaire* ont cherché les meilleures combinaisons à donner aux brûleurs. Ils ont conclu que les jets doivent se rencontrer sous un angle de 90° avec une pression de 80 millimètres (*fig.* 134). Dans ces conditions, l'écartement des orifices de sortie en millimètres est égal au nombre de litres dépensés à l'heure par les deux jets réunis. Le bec bougie doit comporter, en outre, à l'avant, une chambre d'un diamètre un peu plus grand pour faciliter le nettoyage.

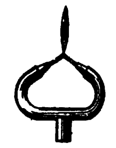


Fig. 133. Brûleur Ragot.

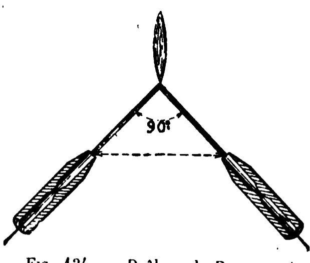
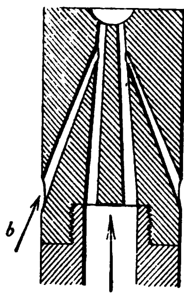


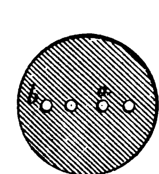
Fig. 134. — Brûleur de Resener et Luchaire.

Pour éviter l'emploi de trous très fins qui s'obstruent rapidement, M. *Bullier* a imaginé des becs spéciaux dits *automélangeurs* dans lesquels l'acétylène se mélange à une proportion convenable d'air immédiatement avant d'être enflammé. Le gaz arrive au centre par des conduits *a*,

verticaux (*fig.* 135), se raccordant à leur partie supérieure avec deux conduits latéraux inclinés *b*, débouchant extérieurement à l'air libre. Les dimensions de ces derniers sont établies de manière à avoir le mélange de 50 0/0 d'air et de gaz. Ce

(*a*) Bec papillon.





(*b*) Bec rond.

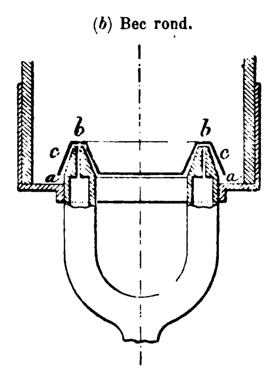


Fig. 135. — Becs Bullier.

principe s'applique également aux becs ronds (*fig.* 135).

On peut utiliser le brûleur Bunsen. Le gaz arrive par un ajutage étroit, au bas de la cheminée, sur la paroi de laquelle se trouve percé un orifice latéral pour l'admission de l'air. On fixe la proportion de ce dernier au moyen d'une virole ordinaire. Quant à la flamme, sa forme dépend de la nature du bec qui peut être rond, fendu ou à trous.

Dans le bec *Cuvellier* (*fig.* 136), le principe de l'auto-mélangeur Bandsept a été appliqué à l'acétylène ; on a remplacé simplement au-dessus du faisceau des tuyères le bec rond par un bec fendu ou Manchester. Ces becs ne paraissent pas donner de bons résultats, il s'y produit des retours de gaz.

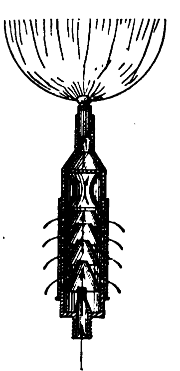


Fig. 136.
Bec Cuvellier.

Des essais ont été faits au Laboratoire du Service de la Vérification du Gaz de la Ville de Paris sur le pouvoir éclairant de l'acétylène. Un bec rond à huit trous, muni d'une cheminée en cristal de $0^{m},25$ de haut avec une consommation de 60 litres à l'heure, a donné $5^{carc},6$, soit $10^{lit},6$ par carcel ; un bec rond à douze trous consommant 82 litres a donné $9^{carc},3$, soit $8^{lit},81$. On a trouvé également qu'un Manchester 000 consommant 81 litres sous une pression de 58 millimètres donnait, de profil, $9^{carc},84$ et de face $10^{carc},24$; le débit est donc de 7 à 10 litres par carcel. Ces chiffres un peu forts proviennent de ce que le gaz n'était pas pur.

L'acétylène a été essayé également dans un bec à récupération du système Mortimer ; le chandelier comportait six Manchester ; on a obtenu les résultats suivants : avec une pression de 54 millimètres et un débit de 122 litres à l'heure, l'intensité était de $20^{carc},5$, soit 6 litres par carcel, et, avec une pression de 60 millimètres et un débit de 128 litres à l'heure, l'intensité passait à $21^{carc},12$, soit $6^{lit},06$ par carcel.

Le même brûleur, sans récupérateur demandait $9^{lit},67$ par carcel. Ces chiffres sont plus forts que ceux de M. Hempel, de Berlin, qui a fait des essais sur des becs papillons, et a trouvé :

Bec n° 1	consommant	$35^{l},0$....	$5^{carc},9$,	soit	$5^{l},9$	par carcel
— 3	—	67,5....	12 ,8,	—	5,29	—
— 5	—	92,21...	8 ,9,	—	4,88	—

En résumé, il faut compter avec les becs à air libre $5^{lit},5$ à $8^{lit},5$ par carcel, suivant l'importance du brûleur, et dans ceux à récupération une dépense un peu plus faible, 5 litres. Les fortes consommations sont les plus avantageuses.

Avec ce gaz, il est très difficile, en ouvrant plus ou moins le robinet d'un bec, de modifier le régime sans changer également le rendement ; s'il y a trop de gaz, la flamme fume aussitôt ; au contraire, s'il est en quantité insuffisante, la puissance lumineuse est de beaucoup diminuée.

On peut cependant mettre la flamme en veilleuse avec des becs en aluminium, à un ou plusieurs trous parallèles très fins ; mais, dans ce cas encore, on diminue le rendement.

113. Lampes portatives. — Il était tout indiqué d'appliquer

l'acétylène à l'éclairage mobile ; de nombreux essais ont été faits ; il en est résulté toute une série de lampes basées sur les mêmes principes que les appareils de fabrication. 100 grammes de carbure dégageant 30 litres d'acétylène, il sera facile d'avoir des lampes donnant la carcel pendant un temps suffisant.

Lampe Trouvé. — Le carbure est contenu dans un seau en toile métallique A (*fig.* 137), et distribué en plusieurs couches séparées par des lames de verre. Le seau est renfermé dans une bouteille C dont le bouchon hermétique laisse passer le tube de dégagement ; le fond est percé d'un orifice O par où pénètre l'eau. Cette bouteille, à son tour, est adaptée dans un troisième vase B contenant l'eau nécessaire à l'attaque du carbure. Le fonctionnement est fort simple. Lorsqu'on ouvre le robinet D, l'eau arrive jusqu'au carbure, l'attaque, et il y a production d'acétylène qu'on peut enflammer à l'extrémité du bec. La pression, venant à augmenter, chasse l'eau de la bouteille et la fait remonter en B. Pour arrêter les gouttes d'eau entraînées par le gaz, dans la bouteille C, on dispose un plateau métallique horizontal *m* et deux tubes concentriques taillés en sifflet *n*. Le tube intérieur est percé de petits trous pour laisser passer le liquide. Il faut donner à l'appareil un volume suffisant pour n'avoir pas à craindre une pression exagérée.

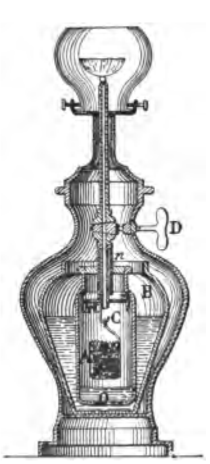


Fig. 137. — Lampe Trouvé.

La lampe *Serpollet-Létang* est basée sur le même principe ; elle n'en diffère que par les détails. Le carbure employé est additionné de glucose, de manière à retarder l'action de l'eau.

Lampe Cerckel. — C'est encore la pression du gaz qui supprime l'arrivée de l'eau. La lampe comporte deux réservoirs A et B, communiquant au moyen de deux tubes avec robinet R. Une soupape à bille est disposée sur l'orifice d'admission de l'eau (*fig.* 138). On comprend aisément le fonctionnement.

Lorsqu'il y a excès de pression, le gaz refoule l'eau jusqu'à ce que la bille repose sur son siège, empêchant alors toute introduction de liquide. L'inconvénient de cette lampe est son nettoyage difficile, la chaux s'accumule en effet au fond du réservoir A.

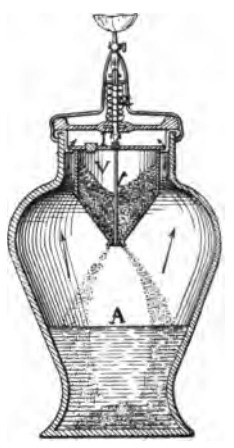


Fig. 139.
Lampe Claude et Hess.

Lampe Claude et Hess. — Dans cet appareil dit l'« Automatique » (*fig.* 139), le carbure est jeté méthodiquement dans l'eau. Il est enfermé à l'état de poudre dans un réservoir V tronconique, fermé dans le bas par une soupape.

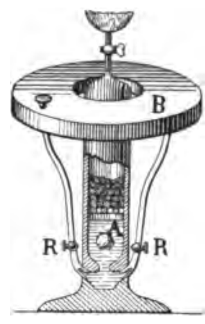


Fig. 138. — Lampe Cerckel.

Cette dernière est solidaire d'une tige *t* qui, après avoir traversé le couvercle, vient se fixer dans une douille en métal montée sur une membrane I qu'on appuie contre le couvercle extérieur de la lampe. La membrane est soumise, d'un côté, à la pression d'un ressort *a*, et, de l'autre, à celle du gaz; suivant les variations de la pression, la membrane se déplace dans un sens ou dans l'autre, entraînant dans ses mouvements la tige *t* et, par suite, la soupape d'écoulement du carbure. La surface de la membrane étant assez grande, la moindre différence de pression entraîne son déplacement ; l'appareil est très sensible, et l'écoulement du solide est presque continu. Le gaz se dégage tout autour du récipient à carbure. Le nettoyage du réservoir A est fort simple.

Lampe Ducretet et Lejeune (*fig.* 140). — Elle réunit, en somme, les principaux organes de leur appareil industriel précédent. Le régulateur du débit de l'eau est en R_1 ; il est formé par une soupape qui tend à se soulever sous la pression

de l'eau provenant de la différence de niveau entre les réservoirs A et B. Cette eau s'écoule ensuite le long du tube *a* pour venir attaquer le carbure de bas en haut dans des paniers. Le réservoir A est muni de chicanes C pour arrêter l'eau entraînée. Le dégagement du gaz se fait par un tube sur lequel un second régulateur R_2 fixe sa pression avant d'arriver au brûleur que l'on peut changer facilement suivant les applications de la lampe. L'eau du récipient B sert également de réfrigérant. La pression à l'intérieur pouvant acquérir des valeurs assez considérables, une soupape D prévoit toute surpression exagérée. Le nettoyage de cet appareil est facile.

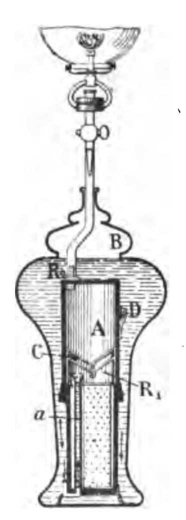


Fig. 140. — Lampe Ducretet et Lejeune.

Lampe Gearing. — C'est encore un appareil à pression relativement élevée. Le réservoir est en acier, il mesure 10 centimètres de diamètre sur 40 de haut. On introduit par une ouverture un bâton de carbure entouré d'un hydrofuge qui ralentit son attaque par l'eau. La décomposition se faisant malgré tout très vite, l'acétylène produit s'accumule dans le corps de la lampe. On l'utilise au fur et à mesure des besoins au moyen d'un détendeur de pression à membrane agissant sur l'obturateur de l'orifice de sortie.

Avec un bâton de 450 grammes on peut produire 142 litres d'acétylène à la pression excessive de 56 kilogrammes par centimètre carré. La consommation des brûleurs est de 28 litres à l'heure environ, leur intensité de 45 bougies.

Emploi de l'acétylène liquide. — L'acétylène liquéfié est d'un usage assez restreint; il pourrait être employé dans des appareils portatifs, 1 litre de ce liquide à 17° donnant 400 litres de gaz. Il semble même que ce soit la meilleure solution; malheureusement, les manipulations, quelque rares qu'elles soient, sont trop dangereuses, et des accidents récents ont

arrêté, tout au moins pour quelque temps, les tentatives faites dans ce sens.

Emploi de l'acétylène dissous. — MM. Claude et Hess ont mis à profit la propriété qu'a l'acétone d'absorber trente et une fois son volume d'acétylène pour en emmagasiner de grandes quantités sous un faible volume et surtout sous une faible pression. De cette façon, on supprime les dangers d'explosion dont les effets sont encore réduits par la présence d'un corps inerte.

L'acétone étant un liquide facile à se procurer à très bas prix, on comprend tout l'intérêt que présente ce nouveau mode d'emmagasinement.

Résumé. — D'une manière générale, quel que soit l'appareil portatif employé, lampe mobile ou à acétylène dissous, il faut qu'il remplisse certaines conditions pour devenir pratique :

1° Être d'un volume relativement faible et cependant suffisant pour ne pas nécessiter son remplissage ou son nettoyage trop fréquemment ;

2° Avoir un mécanisme très sensible et cependant fort simple, de manière à être mis à la portée de tout le monde;

3° Être facilement démontable, pour que le remplissage puisse s'effectuer rapidement sans avoir à craindre les fuites ou les pressions trop élevées.

114. Éclairage mobile. — *Éclairage des voitures de chemins de fer.* — Diverses Compagnies, l'Est, le Paris-Lyon-Méditerranée, l'Ouest, ont imaginé d'appliquer l'acétylène à l'éclairage de leurs voitures. On a profité presque toujours des installations existantes d'éclairage au gaz d'huile.

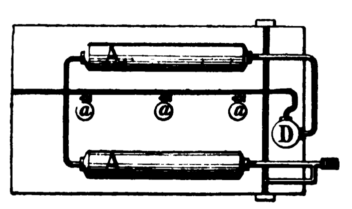


Fig. 141. — Éclairage des voitures de chemin de fer.

A la Compagnie du Paris-Lyon-Méditerranée, les réservoirs A_1, A_2, en tôle rivée de 2 mètres à $3^m,50$ de longueur sur un diamètre de

50 à 70 centimètres, sont placés sur la toiture de la voiture ; ils communiquent entre eux et avec la conduite générale des brûleurs par l'intermédiaire d'un détendeur de pression D (*fig.* 141).

Les réservoirs sont remplis au moyen d'un appareil Bullier, ils renferment 250 litres de gaz à 7 kilogrammes de pression ; les brûleurs du type Manchester débitent 13 à 14 litres, l'intensité de la lumière varie de 1^carc^,5 à 2 carcels ; ils sont enfermés dans les lanternes ordinaires ou à récupération *a*, que nous retrouverons dans l'éclairage par le gaz d'huile.

Éclairage des voitures-tramways. — On place sur la voiture même l'appareil producteur d'acétylène ; c'est un gazogène du système Serpollet-Létang pesant 12 kilogrammes ; il se met sur la plateforme d'arrière, sous l'escalier. Le débit du gaz a lieu sous une pression de 35 millimètres que l'on réduit avant d'arriver aux brûleurs au moyen d'un robinet. La quantité de gaz fournie par l'appareil est de 1 mètre cube ; la consommation horaire est de 80 litres, répartis comme il suit :

	Débit		Intensité
Plateforme.........	15 litres à l'heure		2^carc^,0
Impériale..........	15	—	2 ,0
Falot..............	10	—	1 ,5
Intérieur...........	40	—	6 ,0

La dépense de carbure n'excède pas 1.450 grammes pour sept heures, soit donc un rendement de 330 litres de gaz par kilogramme.

L'acétylène a été appliqué à d'autres usages spéciaux, en particulier à l'éclairage des lanternes de voitures et de bicyclettes ; mais, d'une manière générale, il convient pour les localités de peu d'importance, les maisons isolées, où l'installation du gaz ou de l'électricité serait trop dispendieuse.

115. Réglementation. — Sur la proposition du Conseil de Salubrité de la Seine, l'industrie de l'acétylène a été soumise

à une réglementation spéciale résumée dans les articles suivants :

Article premier. — L'emploi d'un générateur dans un immeuble doit être déclaré à la préfecture de police, en indiquant l'emplacement de l'appareil, une description de cet appareil avec plans et instructions sur son fonctionnement, certifiés par le constructeur. Tout nouveau locataire devra renouveler cette déclaration.

Art. 2. — Les générateurs devront toujours être placés à l'air libre, ou dans un local bien aéré et éclairé par la lumière du jour. Les bouteilles d'acétylène liquéfié devront être soustraites à l'action directe du soleil ; on devra également les entourer d'une enveloppe protectrice avec libre circulation d'air.

Art. 3. — Les résidus de la fabrication ne pourront être déversés à l'égout qu'après avoir été dilués dans dix fois leur volume d'eau.

Art. 4. — Les réservoirs d'acétylène comprimé ou liquéfié devront satisfaire à certaines conditions. Pour des pressions inférieures à 10 kilogrammes par centimètre carré, les réservoirs devront être essayés par le constructeur et sous sa responsabilité à une pression double de celle à supporter. Ils devront être munis d'un manomètre. Pour des pressions supérieures à 15 kilogrammes, les réservoirs seront soumis, par le service des mines, aux frais du propriétaire, à une épreuve officielle, opérée avec le martelage et constatant qu'ils supportent une pression égale à une fois et demie la pression maxima du gaz qu'ils contiennent.

Les bouteilles, ou réservoirs d'acétylène, sont soumis aux épreuves actuellement imposées aux réservoirs de protoxyde d'azote et d'acide carbonique, destinés au transport par voies ferrées, sauf en ce qui concerne les conditions de remplissage.

Toutes les précautions relatives à la canalisation et à la ventilation des locaux éclairés par le gaz ordinaire sont applicables à ceux éclairés par l'acétylène.

§ 2. — Gaz riche

116. Fabrication du gaz riche. — On désigne, sous le nom de gaz riche, un composé gazeux analogue à celui de la houille, mais d'un pouvoir éclairant supérieur. La matière première par excellence est une sorte de schiste bitumineux noir, désigné en minéralogie sous le nom d'ampélite et connu plus vulgairement sous celui de *boghead*. Les gisements, très

nombreux en Écosse, sont exploités à ciel ouvert. En seconde ligne vient une sorte de houille de couleur brune ou noire peu collante au feu, c'est le *cannel coal*. Les *schistes* bitumineux d'Autun, les *lignites* d'Allemagne, en un mot tous les corps se rapprochant du bitume, peuvent donner du gaz riche.

Si à toutes ces matières on ajoute les produits ou résidus de fabrication, tels que les goudrons de pétrole, de gaz, les huiles minérales ou végétales, les huiles de paraffine, de résines, les graisses, on aura un résumé succinct des composés nombreux susceptibles de donner du gaz riche.

Toutes ces substances ne sont pas employées à la fabrication spéciale de ce gaz; elles servent, en outre, dans bien des cas, à augmenter le pouvoir éclairant du gaz d'une houille trop maigre, d'où le nom de charbons d'enrichissement qu'on leur donne quelquefois.

La préparation du gaz au moyen du boghead ou du cannel coal ne présente rien de particulier. La distillation est obtenue dans des cornues en fonte doublées de terre réfractaire. La matière n'augmentant pas de volume, les cornues peuvent être remplies complètement. L'opération dure une heure environ avec des charges de 42 kilogrammes. En général, 100 kilogrammes de boghead donnent 35 à 45 mètres cubes de gaz, 40 à 45 litres d'eau ammoniacale ou goudron. Il n'y a pas de coke comme résidu, mais une substance noirâtre, feuilletée et friable, formée, en majeure partie, de silicates terreux. L'épuration de ce gaz est fort simple, il suffit d'un peu de chaux et d'oxyde de fer; aussi les installations sont de faibles dimensions. A sa sortie, il est recueilli sous un gazomètre; sa composition en centièmes avant l'épuration comporte :

70 à 75 d'hydrocarbures et d'hydrogène,
3 à 4 d'oxyde de carbone,
27 à 21 d'acide carbonique.

Sa densité est 0,55; et il faut 8 à 9 mètres cubes d'air par mètre cube de gaz pour assurer sa combustion complète.

Le cannel coal est un peu moins riche : 100 kilogrammes donnent 35 à 38 mètres cubes de gaz, 45 à 50 kilogrammes de coke et 5 à 8 kilogrammes de résidus. Les résines donnent

beaucoup de gaz, 80 à 130 mètres cubes par 100 kilogrammes de matière.

Le gaz de boghead est employé surtout pour l'éclairage intermittent des villes d'eau, des grands établissements, où le peu de frais de son installation le rend avantageux; mais il lui est difficile maintenant de lutter contre les autres procédés d'éclairage, aussi ne sert-il plus guère qu'à l'enrichissement du gaz de houille.

117. Enrichissement du gaz de houille. — Dans ce cas on se contente d'ajouter en proportion convenable la matière d'enrichissement au charbon ordinaire et de les distiller ensemble. Il serait préférable de faire la fabrication séparément (Schüle), car la température de distillation du boghead est plus forte que celle de la houille.

Quant à la quantité, elle est facile à calculer. Si 100 kilogrammes de houille donnent une quantité de gaz A (environ 30 mètres cubes), d'un pouvoir éclairant trop faible a, et si le gaz à obtenir doit avoir un pouvoir b, il faudra ajouter une certaine quantité y de charbon enrichissant, donnant un volume x de gaz, d'un pouvoir éclairant c, plus élevé.

On aura 100 kilogrammes de charbon pour :

$$A^{m3} \times a = Aa \text{ bougies};$$

y kilogrammes d'enrichissement pour :

$$x^{m3} \times c = xc.$$

Le mélange $A + x$ a un pouvoir éclairant b, on aura donc:

$$(A + x)\, b = Aa + xc,$$

d'où :

$$x = \frac{A\,(b - a)}{c - b}.$$

Si 100 kilogrammes d'enrichissement donnent C mètres cubes, pour x mètres cubes on aura :

$$y = \frac{x \times 100}{C} = \frac{100A\,(b - a)}{C\,(c - b)}.$$

Lorsqu'il s'agit de matières solides à ajouter à la houille, le mélange ne présente rien de spécial ; il n'en est plus de même quand on a affaire à des substances liquides, comme du goudron de pétrole. On a imaginé plusieurs dispositifs.

Dans le procédé *Dinsmore*, qui consiste à ajouter les produits de la distillation du goudron à ceux de la houille, on réserve dans un four une cornue. Elle est munie de deux tubulures : une, à l'avant, communiquant avec les autres cornues et le barillet ; l'autre, à l'arrière, mise en relation au moyen d'un siphon avec un réservoir à goudron. Le gaz, en s'échappant des cornues à houille, passe dans celle à goudron, où il se charge de carbures éclairants. Avec un four à sept cornues, on utilise ainsi la moitié de la production du goudron qui est amenée directement du barillet ou des citernes au réservoir. A la longue, la cornue finit par s'encrasser : le goudron dépose un coke visqueux qu'il suffit de brûler en faisant passer un courant d'air. Le gaz enrichi de cette façon résiste parfaitement aux plus basses températures.

On emploie également avec succès les produits de la rectification du pétrole, dont le point d'ébullition est compris entre 40° et 170°, et le poids spécifique entre 0,640 et 0,750.

La vaporisation de ces liquides a lieu dans un appareil spécial, leur addition au gaz se fait à la sortie du gazomètre. L'appareil se compose (*fig*. 142) d'une chaudière A, à tuyaux verticaux *a*, chauffés par la vapeur ; l'arrivée du liquide provenant d'un réservoir B se fait dans le bas de la chaudière. Les vapeurs carburantes s'échappent, par un injecteur I, dans un tuyau rempli de gaz ordinaire, de manière à produire une certaine aspiration. Le mélange se rend au tuyau principal D, pendant que l'aspiration se fait par F. On règle le débit à la main, de façon à avoir un pouvoir lumineux constant. Il suffit

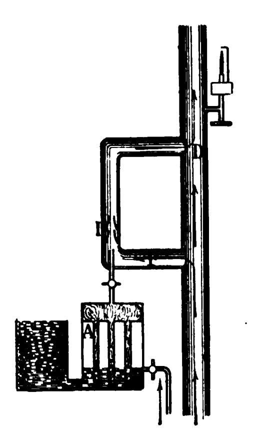


Fig. 142. — Enrichissement du gaz de houille.

pour cela de consulter le photomètre et d'agir en conséquence sur le robinet de vapeur de chauffage.

118. Gaz portatif. — L'idée de supprimer les canalisations souterraines et de les remplacer par des véhicules transportant le gaz aux points de consommation a été mise en pratique depuis longtemps. Il faut, dans ces conditions, donner au gaz un pouvoir éclairant maximum, de manière à réduire au minimum le volume à transporter. Il était donc tout indiqué de recourir au gaz riche, d'autant mieux que le gaz ordinaire a l'inconvénient d'avoir sa puissance lumineuse diminuée par la compression, par suite de la condensation de certains hydrocarbures. Cette perte croît rapidement : avec une pression de 30 kilogrammes elle atteint 5 0/0. Le gaz riche perd aussi de son pouvoir éclairant, mais beaucoup moins ; il donne naissance à un liquide recueilli avec soin et employé à la dissolution des corps gras.

La fabrication en elle-même ne présente rien de particulier. A sa sortie des épurateurs le gaz est recueilli sous un gazomètre, d'où il est aspiré pour être refoulé, au moyen d'une pompe à piston plein, dans des réservoirs disposés sur un camion. Le gaz est comprimé à 20 kilogrammes. Chaque réservoir est relié à une canalisation générale dont il peut être isolé au moyen d'un robinet. L'abonné possède une série de récipients identiques ; comme la pression y est moindre (4 à 5 kilogrammes), il suffit de les réunir aux précédents pour effectuer le transvasement. La liaison se fait au moyen d'une conduite en toile doublée de caoutchouc et commandée par un robinet de barrage disposé dans un coffret analogue à celui employé pour le gaz ordinaire. Ces réservoirs, étant timbrés à 20 kilogrammes, ne présentent aucun danger ; toutefois il faut avoir soin de les disposer dans un endroit ventilé et peu fréquenté, sous les combles par exemple.

Les réservoirs employés pour renfermer le gaz comprimé sont analogues à ceux de l'acétylène liquide.

Une canalisation en plomb, n'offrant d'autre particularité que d'avoir un diamètre réduit, part de ces réservoirs pour alimenter les brûleurs de l'habitation. On abaisse la pres-

sion au moyen d'un détendeur analogue au régulateur d'abonné ordinaire ; elle est ramenée à 20 ou 30 millimètres d'eau. On peut employer également des détendeurs à membrane que l'on règle au moyen d'une vis ou d'un écrou. La membrane, en agissant sur un obturateur placé à l'orifice, réduit la pression dans les proportions voulues (*fig.* 144). Leur débit suivant le modèle peut varier de 500 à 2.000 litres.

119. Gaz d'huile. — On donne plus spécialement ce nom au produit éclairant obtenu par la distillation de substances liquides. Il a été imaginé un grand nombre de procédés pour la fabrication de ce gaz, mais le principe en est toujours le même. Quel que soit le système ou la matière, la décomposition est obtenue en projetant cette dernière sur une substance réfractaire portée au rouge. Ce gaz ne renfermant que fort peu de composés ammoniacaux ou sulfurés, l'épuration en est très facile. Parmi les systèmes les plus répandus, il convient de citer ceux de Durieux, de Maring et Mertz, et enfin celui de Julius Pintsch.

Dans le procédé *Durieux*, le four est formé par une cornue en fonte, dont l'intérieur est occupé par une hélice fixe venue de fonte avec l'appareil. L'huile arrivant par la partie supérieure coule le long de l'hélice où elle est décomposée. Le gaz s'échappe par un orifice ménagé dans le haut de la cornue, d'où il se rend aux épurateurs constitués simplement par un barillet et une colonne à coke.

L'appareil *Maring et Mertz* donne de bons résultats ; il est surtout remarquable par son faible volume et par une épuration assez complète du gaz. La cornue est conique, tout au moins dans la partie plongeant dans le foyer. L'arrivée de l'huile se fait par un tube débouchant au fond de la chaudière. Le gaz à sa sortie se rend dans une bâche à eau ou barillet, et de là à un épurateur chimique formé par une cuve à quatre compartiments.

Cet épurateur contient de la chaux et de l'oxyde de fer. Le gaz obtenu est parfaitement pur.

Le système *Pintsch*, le plus répandu, est basé sur un principe analogue aux précédents. Les liquides employés sont d'une densité élevée et proviennent des goudrons de schiste,

du pétrole et même des résidus de graissage. Le four comporte deux cornues en fonte superposées communiquant entre elles par la partie avant (*fig.* 143). Elles sont fermées par des tampons ordinaires. L'huile arrive d'un réservoir au moyen d'un siphon de distribution; un robinet à vis en règle le débit qui ne doit pas être continu. La quantité d'huile introduite doit varier avec la température des cornues. Elle tombe d'abord dans un bac en tôle placé sur la sole de la cornue supérieure, la décomposition pyrogénée se continue ensuite dans la deuxième cornue. Ce bac, qui a pour but de faciliter le nettoyage en retenant les impuretés, sert, en outre, à débiter le liquide sous forme d'une nappe mince favorisant l'évaporation. La température des cornues varie de 800 à 900°.

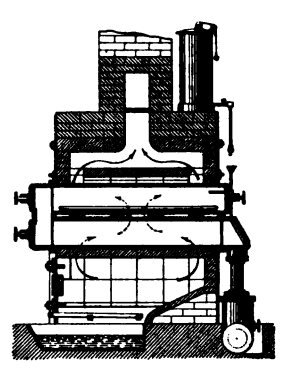


Fig. 143. — Four Pintsch.

Le gaz, à sa sortie, passe dans un cylindre vertical en tôle formant condenseur, barbote ensuite dans un barillet, puis pénètre dans deux autres condenseurs formés par des cylindres verticaux de 2 mètres de haut sur $0^m,70$ de diamètre, refroidis par un courant d'eau froide ; enfin il traverse deux laveurs, de $1^m,25$ de haut sur $0^m,80$ de diamètre, remplis de morceaux de bois disposés en chicanes. Un compteur permet d'évaluer la quantité de gaz fabriqué qu'on emmagasine sous un gazomètre ordinaire. Les cornues mesurent $0^m,260$, $0^m,173$ ou $0^m,130$ de large sur $1^m,50$ de long; la production est de $8^{m3},50$ de gaz par cornues jumelées et par heure. Toutes les substances ne donnent pas la même quantité de gaz.

	Mètres cubes	
Le goudron de schiste....	35 à 40	par 100 kilogrammes
Le goudron de pétrole....	50 à 60	—
Le pétrole brut...........	60 à 75	—

Le gaz d'huile est employé plus spécialement pour l'éclai-

rage des petites villes, des villages et des usines, comme les filatures où l'on utilise les huiles de dégraissage ou de suint; mais, comme le gaz riche, il sert également aux éclairages mobiles, en particulier celui des wagons, des bouées.

120. Éclairage des voitures de chemins de fer. — Dans ce cas, le gaz doit être comprimé. Ce résultat s'obtient au moyen d'une pompe aspirante et foulante qui extrait le gaz contenu dans le gazomètre à travers un cylindre destiné à le débarrasser des particules liquides qui peuvent l'accompagner. Il y a deux pistons en cascade, le premier de 170 millimètres de diamètre, le second de 100; la course commune est de 320 millimètres. La compression a lieu dans le premier cylindre à 4 atmosphères, et dans le second à 10 ou 12. Comme nous l'avons vu pour le gaz portatif, il se produit un dépôt d'hydrocarbures liquides qu'on recueille dans un récipient entre la pompe et les accumulateurs; 1.000 mètres cubes de gaz donnent 150 kilogrammes d'hydrocarbures d'une densité moyenne de 0,850.

Les accumulateurs sont constitués par de grands réservoirs en tôle rivée, munis de manomètres et d'appareils de sûreté, d'où le gaz est transvasé dans des récipients montés sur le véhicule. Il y a plusieurs systèmes.

Dans le procédé *Camberling*, appliqué en Belgique, on met deux réservoirs par train, dans les fourgons de tête et de queue. Le gaz y est comprimé à 10 atmosphères. Toutes les voitures sont reliées par une canalisation générale aboutissant à ces fourgons. Il faut un robinet à l'extrémité de chaque voiture, ce qui permet d'isoler une partie du train sans cesser l'éclairage. Pour plus de sûreté, quelques voitures portent, en outre, un réservoir pouvant fournir du gaz pendant huit à dix minutes, c'est-à-dire la durée d'une manœuvre.

Il est nécessaire d'ouvrir le robinet de prise de gaz des réservoirs une dizaine de minutes avant l'allumage pour chasser l'air des conduits. Si l'on est pressé par le temps, on se contente de tourner dans une position spéciale le robinet de la dernière voiture. Dans ces conditions, la conduite est mise en communication directe avec l'air, l'allumage peut

se faire alors instantanément. Ce système n'a pas été développé par suite de sa grande complication.

On préfère munir chaque voiture de réservoirs particuliers. Ils ont la forme d'un cylindre terminé par deux calottes sphériques. La pression du gaz est de 6 à 7 kilogrammes. Lorsqu'il y a plusieurs réservoirs sur une voiture, on les réunit entre eux. Sur le raccord qui les fait communiquer avec la conduite des brûleurs, on place un détendeur de pression.

Il se compose d'une cuvette en fonte A (*fig.* 144), fermée à sa partie supérieure par une membrane imperméable B en cuir, au centre de laquelle est fixée une tige *c*, qui peut se mouvoir autour d'une articulation placée près du point d'attache. Elle est reliée de même à sa partie inférieure à un levier D qui actionne le robinet R d'introduction du gaz. Un ressort C, agissant en sens contraire de l'action de la membrane, maintient ce levier dont les mouvements sont rendus indépendants des cahots du wagon. Ce régulateur se place sur la caisse de la voiture ; la pression dans la conduite des brûleurs est de 16 millimètres.

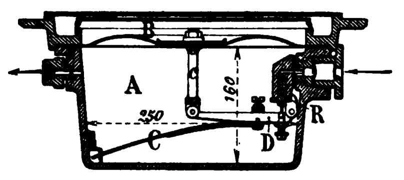


FIG. 144. — Détendeur de pression.

Les lampes des brûleurs sont alimentées par des tuyaux branchés sur la conduite. Il y a un robinet principal commandant toute la canalisation, et un autre par lampe.

Les brûleurs, du type Manchester ou papillon, en stéatite ou en fonte, consomment 35 litres de gaz. Ils sont enfermés dans une lanterne avec coupe en verre au-dessous. Un réflecteur en tôle émaillée renvoie la lumière dans toutes les directions. Les brûleurs sont montés sur un tube mobile autour d'une charnière, de façon qu'en enlevant le réflecteur on relève le brûleur ; le nettoyage de la coupe est alors très facile. Une cheminée en tôle évacue les gaz brûlés.

Comme toujours, les prises d'air sont ménagées de façon à ne pas influencer la flamme aux vitesses les plus grandes.

On peut mettre le brûleur en veilleuse, soit du compartiment même, soit de l'extérieur, au moyen d'un robinet spécial.

On emploie également des lanternes à récupération, semblables à celle indiquée par la figure 145. *a* est une genouillère articulée autour de la conduite *g* ; *b*, le bec Manchester

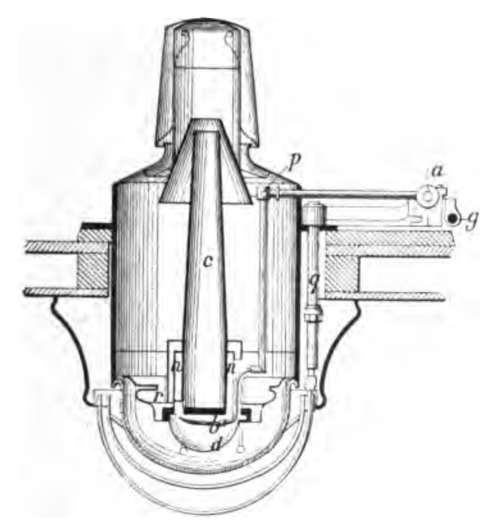


Fig. 145. — Lampe à récupération.

débitant 30 litres; *c*, une cheminée conique terminée par une pastille en lave forçant la flamme à se diriger horizontalement; *d*, une coupe en cristal; *r*, le réflecteur en tôle émaillée servant à maintenir, en outre, la petite coupe en cristal qui entoure la flamme; *nn*, la chambre où s'échauffe l'air de la combustion; *p*, le robinet d'isolement du brûleur. En baissant le store, on met le bec en veilleuse, par l'intermédiaire de la tige *q*. Cet appareil, assez compliqué et d'un prix élevé, n'a pas été généralisé.

Pour charger les réservoirs le long des quais d'embarquement, on établit une conduite en plomb de 8 millimètres

d'épaisseur et de 16 de diamètre, timbrée à 15 kilogrammes. De distance en distance, tous les 10 mètres environ, on place des bouches de chargement. Elles sont en fonte, de forme ovale, et contiennent un robinet. On les réunit aux réservoirs au moyen d'un tuyau en caoutchouc, et on cesse le remplissage lorsque la pression dans le réservoir est de 7 kilogrammes.

Le gaz riche, comprimé dans des réservoirs, peut s'appliquer à l'éclairage des phares, des bateaux ; mais il a à lutter maintenant contre l'acétylène.

§ 3. — Gaz de bois et de tourbe

121. Fabrication. — Le bois a été la première substance employée pour donner du gaz, mais il ne tarda pas à être remplacé par la houille. La distillation du bois ou de la tourbe peut se faire de deux façons : ces corps calcinés en vase clos, à basse température, émettent des vapeurs condensables, riches en produits de toutes sortes, comme l'acide acétique, l'alcool méthylique, les goudrons. Au contraire, à une haute température, ils donnent un gaz riche en hydrocarbures. Il faut, pour cela, empêcher ces derniers de se condenser et les décomposer en produits plus stables. C'est, en somme, le résumé de la fabrication du gaz riche : formation et décomposition des hydrocarbures.

Les deux procédés sont également employés : le premier donne en effet des produits très recherchés et un charbon de bois très utile pour les besoins domestiques ; il se forme bien, en même temps, un gaz combustible, mais il est en si faible quantité qu'on le laisse perdre le plus souvent.

Le choix de la nature du bois, en vue de préparer du gaz d'éclairage, n'a aucune importance ; le rendement est sensiblement le même, pour toutes les essences, il atteint généralement 35 mètres cubes par 100 kilogrammes de bois ou de tourbe. La seule condition à observer est une dessiccation complète du bois ; on comprend que l'eau qu'il pourrait renfermer augmenterait inutilement, soit directement, soit par

les produits de sa décomposition, le volume du gaz, tout en diminuant le pouvoir éclairant; de plus, le chauffage serait mal utilisé. La dessiccation se fait dans la salle des fours; il faut l'utiliser aussitôt après, sinon il absorbe de nouveau l'humidité.

La distillation a lieu dans des cornues en fonte de forme analogue à celle de la houille. On adopte la fonte à cause de sa conductibilité, trente-trois fois plus grande que celle de la terre réfractaire. La décomposition des vapeurs absorbe une grande quantité de chaleur qu'il est alors facile de restituer rapidement. Les cornues ont une hauteur de $0^m,30$ à $0^m,45$, une largeur de $0^m,56$ à $0^m,68$ et une longueur de $2^m,61$ à $2^m,70$; leur épaisseur varie de $2^{cm},5$ à 3 centimètres. La charge est de 50 à 75 kilogrammes de tourbe ou de bois desséché; elle se fait à la cuillère. L'opération dure une heure et demie, mais c'est pendant la première heure que se produit la plus grande quantité de gaz.

Le chauffage doit être très vif, c'est la condition indispensable. La distillation terminée, on fait tomber le bois dans des étouffoirs où il est éteint très rapidement; il donne un charbon très léger. Lorsqu'une cornue vient à fuir, on répare aisément l'avarie au moyen d'un mélange de terre réfractaire et de borax. Les cornues durent dix mois, leur production est de 200 à 250 mètres cubes de gaz en vingt-quatre heures. La surface de chauffe est plus grande que pour la houille, on emploie toutes sortes de combustibles.

Le gaz, à sa sortie des cornues, est envoyé à l'épuration; un barillet le débarrasse du goudron et de l'acide acétique qu'il renferme; ce barillet doit être en cuivre, car l'acide ne tarderait pas à ronger la fonte ou la tôle de fer; de plus, à cause du dégagement rapide du gaz, il faut le refroidir au moyen d'une circulation d'eau froide. A la suite de cet appareil se trouvent installés les laveurs et les réfrigérants analogues à ceux du gaz de houille; enfin a lieu l'épuration chimique. Elle a une très grande importance, le gaz de bois renfermant un quart ou un cinquième de son volume total d'acide carbonique. On emploie la chaux éteinte mélangée à des matières capables de la diviser comme de la tannée, de la

mousse ou de la sciure de bois. Elle est disposée dans les épurateurs en couches de 5 à 6 millimètres d'épaisseur que le gaz traverse méthodiquement. Il faut 100 à 110 kilogrammes de chaux pour 100 mètres de gaz correspondant à 10 mètres carrés de surface de claie.

Le combustible obtenu a des propriétés analogues à celles du gaz de houille; il est plus lourd, sa densité varie de 0,600 à 0,700, suivant sa teneur en oxyde de carbone. Comme il n'est pas très riche en produits éclairants, les brûleurs doivent avoir des dimensions considérables; la pression doit, en outre, être très faible, de manière à le débiter lentement sous une forte épaisseur. Il est caractérisé par l'absence totale d'acide sulfhydrique.

Au point de vue de la fabrication, il a encore comme avantage de donner, à poids égal, plus de gaz que la houille; la distillation étant plus rapide, les appareils sont moins volumineux; par contre, il exige, pour son épuration, des quantités de chaux considérables. Les sous-produits sont assez recherchés; quelques-uns, comme le goudron, renferment de la paraffine de première qualité.

§ 4. — Gaz a l'eau

122. Principes de la fabrication. — Le charbon porté au rouge décompose l'eau en ses éléments, et le résultat final de cette action chimique est un mélange d'hydrogène et d'oxyde de carbone. Ces deux gaz, peu éclairants par eux-mêmes, peuvent servir directement au chauffage ou à la production des hautes températures nécessaires à l'éclairage par incandescence. On peut encore les additionner de carbures éclairants et leur donner ainsi artificiellement le carbone dont ils sont dépourvus. Dans les débuts cette carburation était obtenue au moyen de l'huile de naphte, mais, à la suite des débouchés qui ont fait augmenter le prix de cette matière, on a eu recours à du pétrole brut ou à des huiles lourdes. On avait commencé également à décomposer la vapeur d'eau par des charbons incandescents dans des cornues chauffées extérieu-

rement; on y a renoncé et on produit le gaz dans des générateurs spéciaux.

Les trois principaux appareils employés sont ceux de Lowe, de Humphrey et de Lewes.

123. Procédé Lowe. — L'appareil (*fig.* 146) se compose d'un générateur A et d'un surchauffeur B, tous deux en fer forgé et garnis intérieurement de briques réfractaires. Le générateur

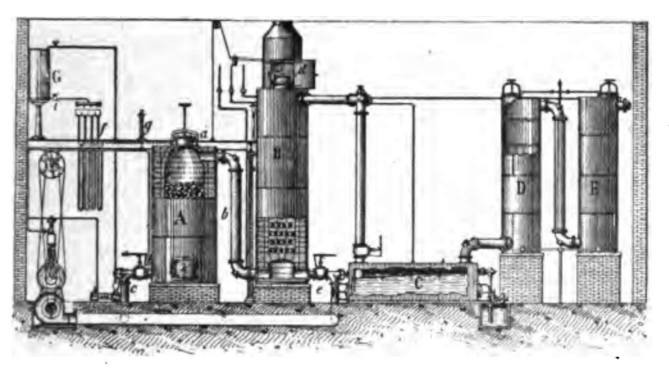


Fig. 146. — Fabrication du gaz à l'eau, procédé Lowe.

est rempli de coke ou d'anthracite qu'on introduit par l'orifice *a*. Ce charbon est porté à l'incandescence au moyen d'une injection d'air produite par un ventilateur. Les produits de la combustion, traversant le surchauffeur, s'échappent par une soupape *d*. Si la température s'élève par trop et que les gaz renferment de l'oxyde de carbone, on les fait refouler par la conduite *e* dans le ventilateur, en faisant brûler par l'air cet oxyde de carbone. Lorsque le générateur et le surchauffeur sont suffisamment chauffés, on ferme les soupapes *c* et *d* et on ouvre *g* et *h* de manière à introduire l'eau et le naphte provenant du réservoir G. La vapeur d'eau arrivant par le bas se décompose en donnant de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène; ces deux gaz rencontrent le naphte vaporisé. Le mélange traverse le surchauffeur où se complète la carburation. L'arrivée de la vapeur et du naphte se faisant régulière-

ment, on arrive à avoir un gaz d'un fort pouvoir éclairant n'exigeant qu'un lavage à l'eau insignifiant. Cette épuration a lieu dans un laveur C suivi de deux colonnes D et E où circule le liquide. Le goudron, très recherché, est recueilli dans une citerne.

Au bout de quinze à vingt minutes, la fabrication est arrêtée et on remet de nouveau de l'anthracite pour l'opération suivante. Le générateur est nettoyé toutes les six ou douze heures. Pour une production journalière de 28.300 mètres cubes, la dépense en coke par mètre cube de gaz est de $0^{kg},72$, celle de l'huile de $0^{lit},71$. On emploie du pétrole russe épuré d'une densité 0,860.

124. Procédé Humphrey. — Cet appareil comporte un double jeu de générateurs, carburateurs et surchauffeurs communiquant entre eux par le bas, au moyen d'une canalisation en briques réfractaires. On injecte d'abord de l'air sous la grille des deux générateurs; puis on introduit de la vapeur au sommet d'un des surchauffeurs; elle descend, gagne le carburateur correspondant, qu'elle parcourt complètement avant d'arriver au générateur où elle se trouve dans les meilleures conditions pour une décomposition complète. Elle pénètre ensuite dans le second générateur. L'huile est introduite par le sommet du carburateur de ce deuxième groupe au moyen de quatre tuyaux. En y arrivant, la vapeur d'huile se trouve enveloppée par la vapeur d'eau surchauffée, et l'huile est presque complètement vaporisée en arrivant au fond du surchauffeur. Après avoir remonté ce dernier récipient, elle est entièrement gazéifiée.

Pour l'opération suivante, cette marche est renversée; on injecte la vapeur par le second surchauffeur, et l'huile par le carburateur du premier groupe. Les briques qui remplissent le carburateur sont aménagées de façon à réserver, au-dessous de chaque orifice d'amenée de l'huile, un espace libre descendant jusqu'au fond de l'appareil dans lequel tombent les impuretés que contient ce liquide. Il est ensuite très facile de les extraire à volonté.

La consommation d'huile et de coke est la même qu'avec l'appareil précédent.

125. Procédé Lewes. — Ce procédé est appliqué dans les usines de la South Metropolitan C°, à Londres. Le générateur occupe en plan une surface de 11 mètres carrés, soit 5m,45 de longueur sur 2m,10 de largeur. Cet appareil peut produire 3.540 mètres cubes de gaz en douze heures.

Il se divise en trois compartiments : le central est rempli de coke tout-venant, et les deux compartiments latéraux de morceaux de fer quelconques, notamment des vieux rails.

Le coke est d'abord amené à l'incandescence au moyen d'une injection d'air constituée par deux courants qui entrent, l'un à la partie inférieure du combustible, l'autre aux deux tiers de la hauteur de ce combustible.

Les produits de la combustion, qui consistent en oxyde de carbone et azote, sont dirigés, pendant les quatre ou cinq premières minutes de chaque injection d'air, à travers les chambres à fer et y réduisent l'oxyde de fer à l'état de fer métallique, comme dans la réaction bien connue des hauts-fourneaux.

Quand la température convenable a été atteinte, l'injection d'air est arrêtée et on envoie un jet de vapeur d'eau surchauffée à la partie inférieure des chambres à fer.

En passant sur le fer porté au rouge, la vapeur est décomposée en hydrogène qui se dégage, tandis que l'oxygène en présence du fer forme de l'oxyde de fer. En même temps, on injecte de l'huile minérale brute à l'aide de vapeur d'eau surchauffée au milieu même du combustible. Le carbone incandescent du combustible décompose la vapeur en un mélange d'oxyde de carbone et d'hydrogène qui environne et protège l'huile pendant sa décomposition. De cette façon elle n'est pas brûlée; mais, grâce à la haute température à laquelle elle est soumise, elle est convenablement décomposée en hydrocarbures permanents d'un grand pouvoir éclairant. On lance aussi un second jet de vapeur au-dessous des injecteurs d'huile, de telle sorte que, si l'huile est divisée ou si elle a une tendance à couler dans le combustible, un nuage de gaz à l'eau se produit dans le générateur et enlève rapidement le gaz d'huile. Le gaz à l'eau et le gaz d'huile ainsi obtenus se mélangent à la partie supérieure du générateur et passent de là aux appareils réfrigérants et aux épurateurs.

Quand la température dans le générateur est tombée au-dessous du point nécessaire pour la production du gaz, les valves qui permettent le passage du gaz dans les conduites sont fermées, et l'injection d'air est de nouveau ouverte. On porte alors encore une fois le combustible à l'incandescence et on réduit les oxydes de fer à l'état métallique, de façon à les rendre encore prêts pour une nouvelle production de gaz éclairant.

Le générateur fonctionne donc ainsi par cycles intermittents, d'une durée de une demi-heure environ, correspondant à dix minutes pour la production proprement dite de gaz, et quinze minutes pour l'injection d'air.

Au point de vue du prix de revient du mètre cube de gaz il y a peu de différence avec le gaz ordinaire. En effet le mètre cube de gaz à l'eau carburé par le procédé Lewe ressort à 0,05, et l'autre à 0,055 environ, d'après les résultats de l'appareil installé à la South Metropolitan.

Au point de vue de la dépense de premier établissement, l'avantage est du côté du gaz à l'eau. On peut évaluer à 70 0/0 l'économie dans le capital à engager ; en outre, l'espace à occuper est également plus restreint.

A Londres, le gaz à l'eau carburé se rend dans un gazomètre spécial, où on le prend pour le mélanger avec le gaz ordinaire dans un autre gazomètre. Le gaz mélangé se rend chez le consommateur par la canalisation ordinaire.

La densité du gaz de houille, à Londres, est égale à 0,430, et celle du gaz Lewes de 0,480. Le mélange peut donc se maintenir dans les conduites.

126. Propriétés du gaz à l'eau. — Le gaz à l'eau carburé obtenu par le procédé Lowe a un pouvoir éclairant de 24 à 25 bougies anglaises ; le gaz Lewes donne 20 à 22 bougies.

Toutefois, par suite même de son mode de fabrication, en raison de sa formation en présence d'un excès de combustible, le gaz à l'eau renferme de l'oxyde de carbone dans des proportions plus que suffisantes pour le rendre éminemment toxique et dangereux.

En Amérique, on estime qu'avec le procédé Lowe le gaz contient de 28 à 34 0/0 d'oxyde de carbone : ce fait est un

obstacle absolu à l'emploi de ce gaz sans mélange préalable avec un autre.

Avec le procédé Lewes la proportion d'oxyde de carbone s'abaisse à 12 ou 15 0/0.

L'inconvénient est encore augmenté par l'absence d'odeur. On a proposé, pour y remédier, d'ajouter du mercaptan, de manière à déceler les fuites.

Le tableau ci-après fournit quelques résultats d'analyses effectuées sur divers gaz à l'eau et divers gaz de houille.

ÉLÉMENTS	COMPOSITION EN 0/0 DU GAZ A L'EAU		GAZ DE HOUILLE fourni à la CITÉ DE LONDRES	GAZ de PARIS
	LOWE	LEWES		
Hydrogène	21,80	38,12	53,36	50,00
Hydrocarbures saturés (méthane, etc.)	30,70	27,30	32,69	34,00
Hydrocarbures non saturés, éthylène, etc	12,90	13,28	3,58	3,50
Oxyde de carbone	28,10	14,16	7,05	7,50
Hydrogène sulfuré et acide carbonique	3,80	6,52	0,61	2,00
Oxygène	0,50	0,12	0,21	1,00
Azote	2,20	0,50	2,50	2,00

Le gaz à l'eau s'emploie soit pour enrichir le gaz de houille comme en Angleterre, soit encore à la façon du gaz ordinaire, en ayant soin d'approprier naturellement les brûleurs à son pouvoir éclairant. On a essayé de l'utiliser sans carburation pour l'incandescence ; la flamme non éclairante chauffait un peigne composé de petites tiges de magnésie ; avec une consommation horaire de 150 litres, le peigne donnait, au début, 20 à 22 bougies, au bout de cinquante heures 15, et de cent heures 10 seulement. La lumière obtenue était très blanche, sans fumée ni chaleur; de plus, il n'y avait que fort peu d'acide carbonique dégagé, mais, par contre, les peignes duraient à peine deux ou trois semaines (*fig.* 147).

Le gaz à l'eau carburé s'emploie fort peu en France : on ne peut guère citer que l'installation de M. Jouanne, à La Bourboule. La vapeur d'eau est envoyée, concurremment avec un

filet d'huile lourde, dans une cornue contenant du coke incandescent; il se produit, à la fois, du gaz riche et du gaz à l'eau qui se mélangent à l'état naissant. Le gaz, ainsi obtenu, passe sur le coke d'une deuxième cornue où il acquiert une grande fixité. L'épuration a lieu dans un barillet où se déposent l'eau et l'huile entraînées.

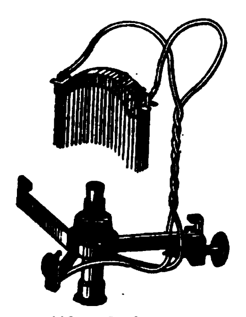


Fig. 147. — Brûleurs pour gaz à l'eau.

Les divers procédés indiqués plus haut ne sont pas les seuls: on a proposé de faire du gaz en injectant de la vapeur d'eau surchauffée dans une chaudière contenant de l'huile à décomposer. Le produit obtenu était très éclairant, mais le prix de revient étant plus élevé, le système n'a pas été développé.

§ 5. — Gaz a l'air

127. Principe de la fabrication. — Le principe de la fabrication du gaz à l'air consiste à charger de carbures éclairants de l'air que l'on met en contact avec des huiles volatiles. Cette préparation fort simple ne nécessite d'autre force motrice que celle indispensable pour faire barboter l'air dans le liquide. On donne à ces appareils le nom plus spécial de carburateurs. Le liquide employé est la gazoline, ou essence de pétrole, d'une densité de 0,650. Très volatile, cette substance se mélange fort bien avec l'air que l'on peut injecter par compression ou aspiration.

Le gaz produit est distribué aux brûleurs au moyen de conduites ordinaires en plomb, mais il ne faut pas que la température de l'endroit où elles sont installées descende au-dessous de 15 à 18°; on peut craindre alors qu'une partie des hydrocarbures ne repasse à l'état liquide, ce qui diminue non seulement le pouvoir éclairant, mais encore peut obstruer les conduites; de là, l'obligation de les munir de

siphons purgeurs et de les isoler des murs au moyen d'un calorifuge.

Le gaz obtenu a un pouvoir éclairant relativement faible; on doit donc, à l'inverse du gaz riche, le débiter sous une forte épaisseur et une basse pression. Le plus souvent on emploie des becs à trous ; mais on peut utiliser également des becs à récupération ou à incandescence. Du fait même qu'il renferme de l'oxygène mélangé à des carbures, il présente de très grands dangers; si la carburation est insuffisante, on court des risques d'explosion. Les accidents ont lieu généralement au moment où l'on ajoute du liquide; la gazoline émettant des vapeurs à la température ordinaire s'enflamme très facilement. Il est donc nécessaire, avec ce système d'éclairage, de prendre de très grandes précautions.

Il existe un très grand nombre de carburateurs, nous allons examiner les plus importants.

128. Carburateur Faignot. La Luciole. — Dans l'appareil *Faignot*, l'air est aspiré au moyen d'un ventilateur recevant son mouvement d'un tambour sur lequel se trouve enroulée une corde dont l'extrémité est munie d'un poids que l'on remonte au moyen d'un treuil. Le poids, en descendant, fait tourner le tambour. La durée de sa course peut être établie pour six, huit ou douze heures.

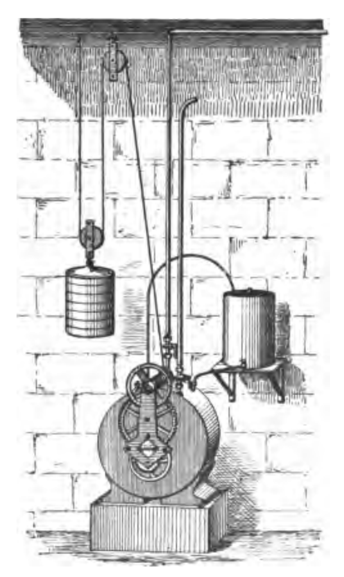


Fig. 148. — La Luciole.

L'air accumulé sous un gazomètre est envoyé ensuite aux carburateurs. Ce sont des récipients en tôle garnis intérieurement de mèches ou de tampons de feutre imbibés

de gazoline, qui activent l'évaporation. On augmente la carburation en forçant l'air à passer dans plusieurs compartiments au moyen de chicanes.

L'appareil produisant l'éclairage dit *la Luciole* est à peu près semblable. Le carburateur renferme une roue à palettes mue comme précédemment (*fig.* 148). Pour avoir un niveau de gazoline constant, l'alimentation a lieu au moyen d'un tube recourbé débouchant un peu au-dessus du liquide. Lorsque l'orifice de ce tube vient à être mis à découvert, une nouvelle quantité d'air pénètre dans le réservoir d'alimentation et force la gazoline à s'écouler. De cette façon, on obtient une carburation constante. La prise d'air se fait par un tube à la partie haute de la salle. La durée du fonctionnement est de huit heures, et l'on compte 1 litre de gazoline par bec de 130 litres et par quinze heures d'utilisation.

129. Carburateur Wiesnegg. — L'évaporation de l'huile entraîne un abaissement de température et, par suite, diminue la carburation. Pour remédier à cet inconvénient dans le système Wiesnegg, le carburateur est plongé dans un bain-marie chauffé par un thermosiphon. Grâce à ce chauffage, on peut utiliser non seulement la gazoline, mais encore des liquides plus lourds. Si, exceptionnellement, il devient nécessaire d'abaisser la température, cela est très facile en remplaçant le chauffage par une circulation d'eau froide. Le courant d'air est obtenu au moyen d'un ventilateur débitant 1.500 litres pour une chute de contrepoids de 1 mètre sous une pression de $0^{m},05$ d'eau. Il faut compter 1/2 litre de gazoline par mètre cube de gaz carburé.

130. Carburateur Lhotammer. — Dans ce système la carburation de l'air se fait toujours sous la même épaisseur de liquide et au même degré de température. L'alimentation de gazoline du réservoir J a lieu au moyen d'un siphon F le mettant en communication avec *g* (*fig.* 149). On comprend aisément que, le niveau baissant dans J, l'air pénètre dans *g* et force le liquide à s'écouler. L'air comprimé par un petit moteur à air carburé ou par toute autre force motrice arrive au fond du réservoir par une pomme d'arrosoir qui le distribue hori-

zontalement. Au préalable, il traverse une soupape P très sensible placée sur le dessus de l'appareil pour revenir à l'état de gaz par R; il en résulte que les flammes des brûleurs ne subissent aucune oscillation, quel que soit le nombre de becs en service. Pour maintenir la température constante tout autour du réservoir G, on fait circuler de l'air chaud provenant d'un fourneau à gaz extérieur en terre réfractaire;

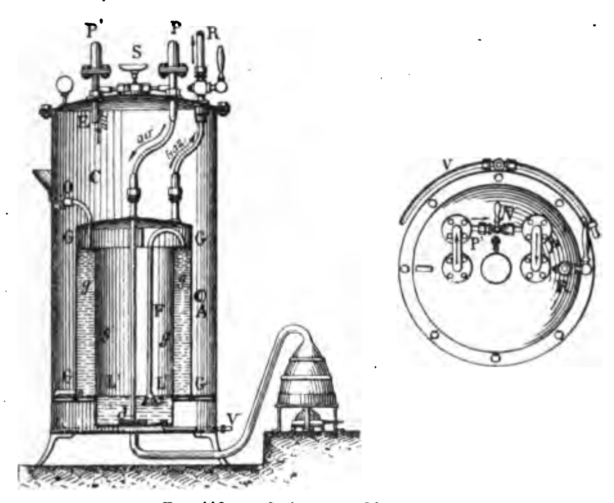


Fig. 149. — Carburateur Lhotammer.

c'est dans ce but que les récipients J et G sont enfermés dans une troisième enveloppe C.

L'introduction de la gazoline peut se faire pendant le fonctionnement de l'appareil au moyen de l'entonnoir O. En V est un robinet de vidange.

La consommation de gazoline est, comme pour le carburateur précédent, de 1/2 litre par mètre cube de gaz. Le pouvoir éclairant de ce dernier serait une fois et demie celui du gaz ordinaire.

131. Carburateur Jaunez. — Le principe est différent des précédents : la vaporisation de la gazoline est obtenue au

moyen de l'air carburé lui-même, c'est-à-dire qu'il ne comporte aucun organe mécanique proprement dit. Ce carburateur se compose d'une cuve surmontée d'un gazomètre à joint hydraulique dans lequel on accumule le gaz carburé et d'une chaudière lenticulaire chauffée par le gaz lui-même. La vapeur de gazoline, formée dans cette chaudière, traverse à sa sortie un injecteur où elle aspire l'air en proportion convenable pour donner un mélange suffisamment carburé qu'on recueille sous le gazomètre.

Pour amorcer l'appareil, on commence par allumer un brûleur sous la chaudière, puis on fait couler un filet de gazoline qui se vaporise aussitôt et traverse l'injecteur entraînant l'air nécessaire à la carburation. Le gaz ainsi produit pourra dès lors être utilisé au chauffage de la chaudière. Le rendement de cet appareil est le même que celui des carburateurs précédents.

Le gaz à l'air est surtout employé dans les endroits dépourvus de gaz ordinaire : maisons de campagne, laboratoires, etc. Son installation est peu coûteuse, et son prix de revient peu élevé, mais il nécessite de grandes précautions, comme il a été déjà dit.

CHAPITRE IX

ARC VOLTAÏQUE ET INCANDESCENCE ÉLECTRIQUE

La production et la distribution de l'électricité étant étudiées dans un ouvrage spécial de la *Bibliothèque du Conducteur*, nous n'avons à nous occuper ici que des applications de l'électricité à l'éclairage.

§ 1. — Production de l'arc

132. Propriétés de l'arc voltaïque.— *Caractères généraux.* — La lumière provenant de l'étincelle électrique jaillissant d'une manière continue entre deux conducteurs écartés est désignée plus spécialement sous le nom d'arc voltaïque. Les propriétés de l'arc varient avec la nature du courant, des électrodes, et celle du milieu dans lequel il se développe. C'est ainsi qu'avec des électrodes en zinc, en argent ou en platine, sa couleur est bleue, verte ou rouge. De même, si on opère dans l'air, dans le vide ou dans un gaz particulier, sa forme et ses dimensions sont modifiées. Lorsqu'il jaillit entre deux pointes, il a une forme ovoïde ; au contraire, entre une pointe et une plaque, il devient conique. Son éclat dépend de l'intensité et du milieu ; plus ce dernier est conducteur, moins l'arc est brillant.

Actuellement, pour l'éclairage, l'arc est généralement obtenu à l'air libre, entre deux électrodes de charbon ou crayons portés au rouge. A cette haute température, ils se consument rapidement ; on pourrait éviter cette combustion en les plaçant dans le vide, par exemple, mais la complication qui en résulte explique l'adoption de l'arc en plein air. La lumière obtenue se compose de deux parties : l'une, provenant de

l'arc électrique jaillissant entre les électrodes ; l'autre, fournie par une sorte de flamme allant d'un charbon à l'autre et entourant l'arc. Comme l'éclat de cette dernière est rouge, et celui de l'arc bleu, il en résulte une teinte violacée caractéristique. A cette lumière il faut ajouter celle fournie par l'incandescence des charbons, dont le rôle est très important. Il arrive, par moments, que la flamme jaillissant entre les charbons ou l'arc lui-même disparaît; il en résulte alors des variations très sensibles à l'œil nu.

L'arc peut être produit indifféremment par des courants continus ou alternatifs. Malgré la complexité des phénomènes, avec les *courants continus*, l'arc reste sensiblement le même. Le charbon positif se creuse en forme de cratère, le négatif, au contraire, se taille en pointe. L'usure n'est pas identique ; le positif se consume deux fois plus vite que l'autre. Cette différence provient de ce qu'il y a transport de la matière du positif au négatif. L'arc est, en effet, une partie du courant et jouit des propriétés du reste du circuit. Le transport de la matière est facile à constater; lorsqu'on examine les électrodes au microscope, on voit se former sur le positif des globules liquides incandescents qui se précipitent sur le négatif (*fig.* 150). Ces globules proviennent de substances minérales contenues dans les crayons fondant sous l'action du courant. La présence de ces matières est moins fréquente dans les charbons actuels.



Fig. 150. — Arc voltaïque.

Avec les *courants alternatifs* les phénomènes sont plus compliqués. A chaque période, l'arc s'éteint et se rallume, comme on l'a constaté expérimentalement. Pour que ce papillonnement ne soit pas sensible à l'œil, il faut que la fréquence à la seconde soit au moins de 40. L'étude particulière de cet arc a été faite par M. Joubert, puis par M. Blondel; ils sont arrivés à déterminer la durée relative des extinctions, des allumages et les conditions de stabilité. Les arcs longs et peu intenses ont des extinctions de longue

durée. Comme la stabilité dépend de cette durée, car non seulement il y a suppression de l'arc, mais encore refroidissement des charbons, il est préférable d'employer des arcs courts et intenses. De là l'obligation d'avoir des crayons proportionnés à l'intensité, dans des limites plus étroites que pour les courants continus. Il y a également transport de la matière d'un crayon à l'autre; mais, comme le sens change à chaque période, l'usure est la même pour les deux; il se produit en même temps un déplacement d'air qui fait entendre un ronflement caractérisant l'arc alterné.

Force électromotrice. — Pour franchir l'espace libre entre les deux conducteurs, il est nécessaire que le courant ait une force électromotrice suffisante. En réalité, tout se passe comme si le circuit avait sa section réduite en ce point, opposant ainsi une résistance plus grande au courant. L'énergie absorbée n'est pas perdue ; elle se transforme d'abord en chaleur (c'est la chaleur elle-même qui ferme le circuit), puis en lumière. La différence de potentiel nécessaire à la formation de l'arc dépend de la nature du milieu, de celle des crayons et surtout de la longueur de l'espace à franchir. On a la relation :

$$E = a + bl,$$

dans laquelle a est une constante, b un coefficient, et l la longueur de l'arc. La valeur de l croît plus vite que celle de E. Mais il y a une limite supérieure, 40 à 50 volts, au-delà de laquelle l'arc est peu stable, et la flamme, trop longue, brûle les crayons.

L'écartement des crayons varie de 4 à 5 millimètres, cette distance est proportionnelle au courant. Pour les courants continus la force électromotrice est comprise entre 40 et 50 volts; elle est d'autant moins élevée que l'intensité est plus grande et que le nombre d'appareils en série est plus considérable, comme l'indiquent les chiffres ci-dessous, pris aux bornes des dynamos :

	Volts
1 lampe à arc exige.............	60 à 70
2 lampes à arc exigent.........	115
4 —	220
8 à 9 —	440

Les résultats sont sensiblement les mêmes avec les courants alternatifs, sauf que la production de petits arcs est plus difficile encore qu'avec les continus. A Vienne, la maison Ganz a pu placer trois arcs de 8 ampères de 2 à 4 millimètres d'écart sur un circuit de 100 volts. A Francfort, la Compagnie *Helios* a pu avoir quatre arcs de 9 ampères sur un circuit à 110 volts, ce qui abaisse à 28 volts environ la force électromotrice par arc. Par contre, pour un seul foyer, il faut compter 60 volts efficaces pour obtenir une lumière stable, c'est-à-dire d'un allumage facile à chaque changement de période ; l'augmentation de la fréquence accroît cette stabilité.

Pour produire l'arc, la condition indispensable est d'amener d'abord les crayons en contact, la résistance opposée par l'air étant trop grande pour permettre la formation du courant. Les crayons sont ensuite écartés ; l'intervalle se trouve alors parcouru par les molécules de charbon qui forment, en quelque sorte, la continuation du circuit ; cependant, lorsque le milieu a atteint une certaine température, l'arc peut jaillir à 3 ou 4 millimètres d'intervalle. C'est ce qui se passe avec les courants alternatifs dans lesquels l'arc est interrompu à chaque changement de sens du courant.

Température. — La température de l'arc est la plus élevée qu'on soit arrivé à produire. On évalue de 3.000° à 3.800° la température du four électrique. Celle du crayon positif serait de 3.000° ; celle du négatif, de 2.500° seulement ; et enfin celle de l'arc, de 4.500°. Cette inégalité de chaleur concorderait avec la différence de teinte des deux crayons ; le positif est au rouge blanc, et le négatif au rouge sombre. Avec les courants alternatifs, la température doit être moins élevée ; par suite des extinctions successives qui se produisent au changement de période, les crayons se refroidissent forcément. La température moyenne et, par conséquent, l'éclat de l'arc croissent avec l'intensité efficace et la fréquence qui ont pour effet de diminuer les extinctions. Le rendement de l'arc alterné est inférieur à celui de l'arc continu.

L'intensité lumineuse de l'arc voltaïque s'explique en partie par la température élevée des crayons.

Mesures photométriques. — Des mesures photométriques ont permis d'étudier l'intensité lumineuse de l'arc voltaïque suivant différentes directions. On a trouvé pour les courants

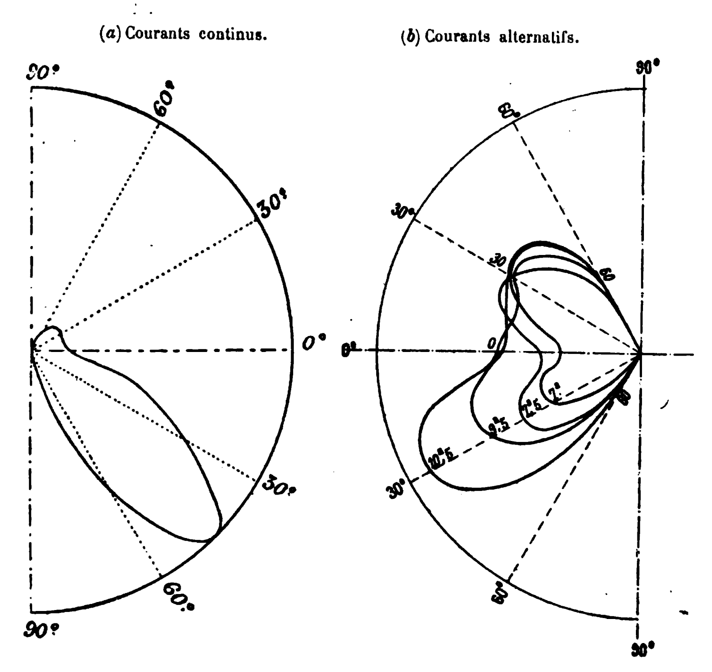


Fig. 151. — Intensité lumineuse de l'arc voltaïque.

continus que la répartition de la lumière n'était pas uniforme. Le cratère du crayon positif en fournit la plus grande quantité dirigée vers le bas, 85 0/0; le négatif donne 5 0/0; et l'arc, 10 0/0. L'intensité atteint son maximum entre 40 et 45°; les valeurs suivant les autres directions sont figurées sur le graphique *a* de la figure 151.

A l'Exposition de Francfort, des essais ont été faits sur les courants alternatifs; comme précédemment, on a trouvé que la répartition n'était pas uniforme : on a un maximum entre

20° et 40° au-dessus et au-dessous de l'horizontale, le minimum a lieu sur l'horizontale même. Le graphique *b* représente les résultats de quatre essais. La longueur de l'arc était de 5 millimètres; le voltage, de 30 volts environ; et l'intensité, de 7ᵃ — 7ᵃ,5 — 9ᵃ,5 et 10ᵃ,5.

La répartition de lumière est moins avantageuse qu'avec les courants continus. Il en est de même de l'intensité sphérique moyenne. Nous verrons par la suite comment on peut les modifier.

D'un plan vertical à l'autre les valeurs observées devraient être les mêmes ; il n'en est rien, par suite du peu d'homogénéité des crayons ou de leur position défectueuse ; de plus, l'usure ne se fait pas symétriquement. On peut, du reste, exagérer ce défaut pour en tirer profit. En inclinant les charbons l'un par rapport à l'autre, on arrive à diriger la lumière dans une direction déterminée, et même à obtenir des éclairements un peu supérieurs.

133. Crayons. — La nature des crayons joue un grand rôle dans la production de l'arc voltaïque. Au début, on employait à leur fabrication le graphite, ou charbon des cornues, qu'on débitait en prismes carrés de 20 centimètres de longueur; mais le manque d'homogénéité de cette matière l'a fait abandonner. On fit dans la suite une sorte de charbon des cornues artificiel, en décomposant des hydrocarbures par la chaleur; la substance obtenue sous forme de lames était ensuite débitée à la scie. Quoique donnant une très belle lumière, cette préparation trop difficile à réaliser fut abandonnée.

Dans le procédé actuel de M. Gauduin ou celui de M. Carré, les hydrocarbures ont été remplacés par des charbons de choix, provenant du graphite, du coke de pétrole ou du goudron. Les poudres charbonneuses sont lavées dans des réactifs, destinés à les débarrasser des sels minéraux qu'elles peuvent renfermer. Une fois purifiées, elles sont agglomérées avec du sirop de sucre ou de gomme, ou tout autre agglutinant. La pâte est malaxée avec soin, puis *moulée* ou *comprimée*, sous forme de baguettes cylindriques que l'on dessèche en vase clos. Les baguettes sont disposées dans des fours, en couches horizontales superposées et entourées de

poussier de coke. La calcination dure de quatre à cinq heures.

Après cette première cuisson, les crayons sont plongés dans une solution concentrée de sucre et recuits à nouveau. On peut alors les disposer verticalement ; ils sont suffisamment résistants pour ne pas se déformer. On les replonge encore dans une nouvelle solution pour les recuire ensuite. Ces opérations répétées, ayant pour but d'augmenter leur homogénéité, constituent le *nourrissage*. On les recommence un plus ou moins grand nombre de fois, selon qu'il s'agit d'obtenir des crayons durs ou tendres.

Actuellement, on arrive à de bons résultats, après une seule cuisson. Les poudres charbonneuses sont agglomérées au moyen de goudron purifié. La pulvérisation, poussée aussi loin que possible, est faite par des cylindres en acier ou des meules ; le mélange avec l'agglutinant a lieu dans les mêmes conditions. La pâte homogène est tréfilée dans un cylindre dont le fond est percé d'un orifice ; la pression sur le piston atteint 300 atmosphères. La cuisson a lieu dans des fours à chambres séparées, dont on peut augmenter progressivement la température ; elle dure sept à huit jours.

La dureté des charbons dépend de leur mode de fabrication. Les crayons filés ou comprimés, riches en graphite, sont plus durs que les autres, leur conductibilité est plus grande ; ils s'usent moins vite, mais ils donnent moins de lumière. On les emploie pour les basses tensions. Les crayons tendres, au noir de fumée, sont sujets à crépiter; ils conviennent plus particulièrement pour les courants alternatifs ; les poussières provenant de la désagrégation étant très conductrices, ils s'usent rapidement.

Les crayons positifs, pour courants continus, sont généralement pourvus d'une âme ou mèche, en pâte de charbon séchée et non cuite, destinée à donner un cratère très régulier. De plus, la volatilisation du goudron de cette pâte augmente la conductibilité. L'emploi des crayons à mèche est général pour les courants alternatifs.

Malgré tous les soins apportés à la purification des pâtes, il entre souvent, dans leur composition, des substances étrangères qui changent les couleurs de la lumière et dimi-

nuent son éclat. On a essayé d'exagérer cette particularité, en ajoutant à la pâte des substances minérales; mais, comme le mélange n'était jamais très intime, la lumière obtenue était instable et vacillante; aussi n'a-t-on pas donné suite à ces essais. Il en est de même des tentatives ayant pour but d'augmenter la conductibilité des crayons, en les recouvrant extérieurement d'une couche métallique. Le cuivrage n'a été conservé que pour les crayons très minces ; il augmente leur conductibilité de deux tiers environ.

Les charbons du commerce ont une résistance assez variable ; pour une section de 11 à 15 millimètres de diamètre, elle atteint 0,45 à 0,60 ohm par mètre courant. Le charbon des cornues présente une résistance cinq à vingt fois plus grande. L'élévation de température a pour effet d'augmenter cette résistance ; le coefficient d'augmentation est très variable, il atteint 1/2400 à 1/1912 par degré centigrade.

Quant aux dimensions à donner aux crayons, il convient, pour les déterminer, de se rapporter aux expériences récentes de M. Blondel. Le rendement lumineux varie en sens inverse du diamètre des crayons, mais la réduction de la section est limitée par leur usure trop rapide. Ainsi, un arc de 20 ampères 44 volts donne $0^{boug},70$ par watt avec des crayons de 21 et 13 millimètres de diamètre ; le même, avec des charbons de 14 et 8 millimètres, donnera $1^{boug},92$, soit presque le triple. Le rendement lumineux, à densité de courant constante, augmente avec les grands arcs, ce qui s'explique par l'élévation de la température des charbons. La nature de ces derniers joue également un rôle important : les crayons tendres au noir de fumée donnent plus de lumière ; de même les crayons à mèche ont un rendement inférieur, la mèche diminue en effet l'incandescence.

Voici les valeurs actuellement les plus employées pour la section du positif :

LAMPES	DIAMÈTRES
2 à 8 ampères	2 à 8 millimètres
8 à 12	8 à 12
12 à 20	12 à 15
20 à 25	16 à 20
au-dessus de 25	20

soit, approximativement, une densité de 5 à 10 ampères par millimètre carré. Ces chiffres, qui n'ont rien d'absolu, sont trop élevés, il faudrait seulement une densité de 1 ampère par millimètre carré et avoir des longueurs de crayon en conséquence — 50 centimètres au moins — ou doubler les crayons en en mettant deux parallèles. Les crayons sont établis pour une durée de huit à dix-huit heures, soit une usure moyenne de 2 à 3 centimètres à l'heure. En résumé, on devrait avoir des crayons à pâte tendre, à faible diamètre, à voltage voisin du rendement maximum et à forte intensité.

134. Régulateurs. — Bougies électriques. — Par suite de l'usure des charbons, il est nécessaire pour empêcher l'extinction de l'arc, de les rapprocher à chaque instant. Cette opération est confiée à un appareil appelé régulateur. Il a été imaginé un nombre considérable de régulateurs ; mais, quel que soit le système, ils doivent satisfaire à deux conditions indispensables.

D'abord, les crayons au contact doivent s'écarter, aussitôt que le courant passe, à une distance parfaitement déterminée, fonction de l'intensité du courant. En second lieu, au fur et à mesure de l'usure, un mécanisme doit les rapprocher de manière à donner à l'arc son écartement normal ; en outre, si ce dernier se rompt, il doit établir le contact aussitôt. Pour réaliser ces deux conditions, tout régulateur doit renfermer des organes produisant :

1° La force nécessaire pour amener le contact des charbons : le plus souvent cet effort moteur est obtenu par le poids du charbon lui-même et de son support; parfois cependant, on a recours à de petits électro-aimants ou à des ressorts ;

2° La séparation des crayons lorsque le courant passe : ce mécanisme se réduit généralement à un électro-aimant traversé par le courant qui attire un noyau ou une armature fixée à l'un des porte-charbons, de manière à provoquer l'écartement ;

3° Le rappel de l'usure des crayons : ce mécanisme se confond souvent avec le précédent, parfois il est distinct.

Les mouvements de tous ces organes doivent se faire sans secousse ; aussi, le plus ordinairement, sont-ils adoucis par

des amortisseurs ou freins. Les régulateurs peuvent être établis de façon à maintenir constante soit l'intensité du courant qui les traverse, soit la force électromotrice aux bornes ou bien encore une fonction de ces deux quantités, la résistance. De là, trois classes de lampes à arc :

1° Les régulateurs en *série* ou à *intensité constante ;*

2° Les régulateurs en *dérivation* ou à *potentiel constant ;*

3° Les régulateurs *différentiels* ou à *résistance constante* (compound).

Au lieu d'avoir recours à un mécanisme spécial pour produire le rapprochement des crayons, on peut se contenter de les placer à côté l'un de l'autre, en les séparant simplement par une substance qui fond au fur et à mesure de leur usure. L'intervalle pour le passage de l'arc sera toujours le même, et l'on n'aura pas besoin de toucher aux crayons pendant le fonctionnement de l'appareil. On donne à ce dernier système le nom de *bougie électrique ;* on ne peut l'employer qu'avec les courants alternatifs.

§ 2. — Régulateurs en série ou a intensité constante

135. Principe. — Ces appareils sont les plus anciens ; l'électro qui doit produire l'écartement des crayons est parcouru par le courant total qui alimente l'arc. Le schéma de la figure 152 montre le principe d'un régulateur de ce type dans lequel le charbon inférieur est supposé fixe.

Le poids du charbon supérieur et de son porte-charbon sert à rapprocher les crayons. Ce poids est partiellement équilibré par le noyau mobile d'un électro-aimant dont les spires sont parcourues par le courant total. Les efforts sont transmis par des cordonnets s'enroulant sur des poulies. Les charbons sont d'abord en contact. Quand le courant passe, le noyau est attiré et les charbons s'écartent ; il y a équilibre lorsque l'attraction magnétique compense la différence p entre le poids moteur et celui du noyau.

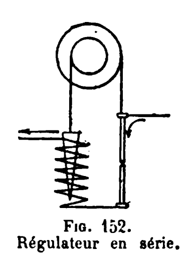


Fig. 152. Régulateur en série.

Le noyau est établi de façon que, sous l'influence d'un courant d'intensité constante I et dans les limites prévues pour la course, l'attraction reste invariable, quelle que soit sa position dans l'électro-aimant. Ce résultat est obtenu dans de très grandes limites avec un noyau à section décroissante.

Dans ces conditions, en appelant n le nombre des spires, et K une constante, on aura :

$$\mathrm{K}n\mathrm{I} = p,$$

d'où :

$$\mathrm{I} = \text{constante}.$$

Le principe de l'appareil est fort simple, mais l'application présente quelques difficultés. Il faut, en effet, amortir le mouvement des différents organes de manière à ne pas influencer l'arc voltaïque, de là l'obligation d'avoir un nombre considérable d'engrenages qui compliquent énormément ces lampes.

Dans certains appareils, l'électro-aimant régulateur n'agit pas directement sur le porte-charbon supérieur. Celui-ci est sollicité par un mécanisme dont le fonctionnement est réglé par l'armature de l'électro-aimant. Dans ce système, que l'on peut appeler *à déclic* par rapport au précédent dit *à action directe*, l'électro-aimant a pour effet de vaincre la résistance d'un ressort qui s'oppose au mouvement de l'armature. Si f est l'action de ce ressort, l'équation précédente devient simplement $\mathrm{K}n\mathrm{I} = f$. L'action du déclic est intermittente, elle n'a lieu que lorsque I atteint une limite déterminée ; cependant, grâce aux nombreuses transmissions, cette oscillation n'est pas appréciable à l'œil nu.

Les régulateurs de *Foucault*, de *Serrin*, *Siemens*, étaient à déclic ; ceux d'*Archereau*, *Jaspar*, à action continue. Le fonctionnement de ces appareils était très satisfaisant ; mais leur prix élevé, dû à leur grande complication, les a fait abandonner.

Ils sont d'ailleurs monophotes, c'est-à-dire qu'il n'est pas possible d'en installer plus d'un sur un même circuit. En effet, si plusieurs arcs sont montés en tension sur un circuit et que celui-ci soit parcouru par un courant d'intensité cons-

tante, aucun mécanisme régulateur ne peut fonctionner; s'il est parcouru par un courant à potentiel constant, l'inégalité inévitable des charbons provoque dans certains arcs des allongements plus accentués; alors tous les organes régulateurs entrent en jeu; l'arc trop long redevient normal, les autres deviennent trop courts, et des courts-circuits se produisent.

Il faut observer, en outre, qu'il est indispensable d'intercaler dans les circuits une résistance additionnelle toutes les fois que le régulateur est alimenté par une dynamo excitée en dérivation. Si cette précaution était négligée, et que les charbons de l'arc vinssent en contact, la dynamo se désamorcerait.

§ 3. — Régulateurs en dérivation ou a potentiel constant

136. Principe. — Ces régulateurs, comme les précédents, ne comportent qu'un électro parcouru par une dérivation du courant (*fig.* 153). Le plus souvent il sert à produire le rapprochement des charbons en marche et le contact à l'allumage. Au repos ces derniers s'écartent sous l'action de la pesanteur ou de toute autre force. Lorsque le courant passe, l'écart normal est déterminé par l'équilibre entre le poids p et l'attraction magnétique du solénoïde. En appelant n' le nombre des spires de l'électro, r' sa résistance, et I' l'intensité du courant correspondant, on a:

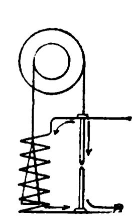


Fig. 153. Régulateur en dérivation.

$$K'n'I' = p\,;$$

mais comme:

$$I' = \frac{E'}{r'},$$

il en résulte:

$$\frac{K'n'E'}{r'} = p,$$

la seule variable étant E', on en conclut $E' =$ constante; d'où

le nom de régulateurs à potentiel constant donné à ces appareils. Ils sont assez nombreux et conviennent plus particulièrement dans le cas où les lampes sont montées en série sur le même circuit. Il est nécessaire de placer une résistance de réglage en série avec eux.

137. Régulateur Mondos. — Dans ce régulateur, le charbon négatif est fixe, d'où il résulte que le point lumineux est variable. Le charbon positif est placé à l'extrémité d'un bras de levier horizontal, dont l'autre supporte un contrepoids qui, au repos, produit l'écartement des charbons. Le solénoïde a son noyau fixé au bras de levier horizontal du même côté que le charbon positif.

Lorsque le courant passe, le noyau dans le champ de l'électro est attiré, assurant le contact indispensable à l'allumage. L'arc une fois formé, le contrepoids intervient pour produire l'écartement. Le réglage de l'appareil se fait en déplaçant le contrepoids le long du bras de levier correspondant. Pour empêcher les mouvements trop brusques, un frein à air commandé par l'électro ralentit les oscillations du levier. Le fonctionnement de cette lampe est très régulier.

138. Régulateur Brianne. — L'organe principal de cette lampe est un volant assez lourd rendu solidaire du porte-charbon supérieur par l'intermédiaire d'un pignon et d'une crémaillère.

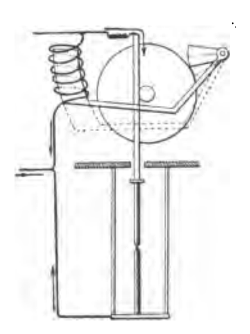


Fig. 154. — Régulateur Brianne.

Une dentelure ménagée sur le volant engrène avec un secteur denté commandé par le noyau lamellé du solénoïde excité par une dérivation du courant.

Au repos, le noyau sollicité par la pesanteur abandonne le solénoïde (*fig.* 154); il fait tourner le volant, par suite le pignon, de manière à écarter les charbons. Lorsque le courant passe, l'électro attire le noyau et assure le contact des crayons. Le courant principal étant

établi, le solénoïde abandonne l'armature, qui amène l'écart des crayons à l'amorçage. Le jeu des variations ordinaires se reproduit, mais avec une particularité intéressante. Lorsque la résistance de l'arc est trop considérable, c'est-à-dire au moment où le solénoïde atteint son maximum d'excitation, le noyau enfoncé à fond dans l'électro est à bout de course; à ce moment, le secteur abandonne le volant, mais, par suite de sa grande masse, ce dernier n'est entraîné que faiblement par le poids du porte-charbon à crémaillère ; il en résulte que le solénoïde se trouve influencé bien avant le rapprochement trop considérable des crayons. Comme on le voit, cette lampe est fort simple, sans organe délicat; elle est de plus très sensible et, grâce à la constitution lamellaire du noyau, on peut l'employer pour les courants alternatifs, il n'y a pas à craindre un échauffement exagéré. Son emploi est assez répandu en France.

139. Régulateurs dynamos. — *Bréguet.* — C'est au groupe des régulateurs en dérivation qu'appartient une série de lampes dans lesquelles une petite dynamo remplace le solénoïde des appareils précédents. Le fonctionnement est sensiblement le même. L'induit de la dynamo est parcouru par une dérivation ou par le courant total de l'arc, les inducteurs sont excités par une dérivation, il en résulte un couple qui tend à produire le mouvement des crayons. Ce mouvement est contre-balancé par une force antagoniste due à la pesanteur ou à tout autre mécanisme. En général, dans ces lampes, l'action du réglage est continue.

Le nombre de régulateurs dynamos est assez considérable, il convient de citer un modèle assez connu en France : la lampe Bréguet. Le porte-charbon supérieur, assez lourd, engrène avec un pignon calé sur l'arbre d'une dynamo Gramme en série parcourue par le courant principal de l'arc. Le rapprochement des crayons est dû à la pesanteur dont l'action est permanente. La dynamo dont les mouvements varient avec l'intensité du courant tend à les écarter. Dans cette lampe, le crayon négatif étant fixe, le point lumineux se déplace. On peut établir ce régulateur pour des intensités différentes, en plaçant une masse de fer doux dans le voisi-

nage des pièces polaires de la dynamo. Ce régulateur, qui se monte en dérivation, est éminemment simple et robuste.

La lampe Bréguet a servi de modèle à plusieurs lampes du même type, en particulier au régulateur Thury, qui peut se monter en série, condition à laquelle ne satisfait pas l'appareil précédent.

Maquaire. — Une autre lampe usitée pendant longtemps est la lampe Maquaire, désignée encore sous le nom de lampe Alpha.

Le petit moteur est à anneau denté genre Paccinotti. L'inducteur, en fer à cheval, est excité par le courant dérivé de l'arc; le circuit est enroulé deux fois sur chacune des branches. L'un des balais est relié à la fin du premier enroulement, l'autre est réuni à une lame mobile entre deux butoirs, le premier communiquant avec le commencement du fil de l'inducteur, le second avec sa sortie. On comprend aisément que, suivant le butoir auquel aboutit la lame, le courant parcourt l'inducteur dans un sens ou dans l'autre, produisant ainsi le rapprochement ou l'écart des charbons par l'intermédiaire d'une roue dentée et d'une crémaillère.

La lame mobile est reliée à l'armature d'un électro régulateur monté en dérivation ou en série sur le circuit de l'arc. Le solénoïde de cet électro entoure un noyau replié parallèlement sur lui-même et sur lequel l'armature est fixée par un ressort très court. L'attraction sur l'armature peut se modifier, car la partie du noyau enfoncée dans la bobine est en deux parties, pouvant s'écarter ou se rapprocher au moyen d'une vis. Suivant que l'action de l'électro ou du ressort l'emporte, la lame mobile aboutit à l'un ou l'autre contact. Il en résulte que le réglage du courant se fait d'une manière intermittente.

Cette lampe comporte, en outre, plusieurs détails importants. Les surfaces polaires de l'inducteur ne sont pas concentriques à l'anneau; elles sont plus rapprochées vers le milieu, ce qui augmente la sensibilité. La culasse du fer à cheval présente une solution de continuité remplie par un coin en fer, dans lequel pivote l'axe de l'anneau. Ce coin peut se déplacer à son tour sous l'influence d'un ressort, autour

d'un axe parallèle à cette tige, de manière à débrayer l'anneau dès que le courant descend au-dessous d'une certaine intensité; toute la transmission, n'étant plus maintenue, tourne alors sous l'action du poids des charbons, qui tendent à se rapprocher et à venir en contact dès que le courant a cessé de passer.

On peut disposer ce régulateur de manière à fonctionner avec deux ou quatre charbons, suivant la durée de l'éclairage.

D'après le mode d'excitation en série ou en dérivation de l'électro de réglage, cette lampe a le caractère des régulateurs en dérivation, ou différentiels, dont la description va suivre. Cette disposition a comme conséquence de pouvoir les monter en série ou en dérivation, suivant les besoins.

§ 4. — Régulateurs différentiels ou à résistance constante

140. Principe. — Dans les appareils précédents le rapprochement et l'écart des charbons sont obtenus au moyen d'un seul électro et de mécanismes spéciaux. Siemens a imaginé de remplacer ces derniers par un nouvel électro. La lampe en possède alors deux, l'un à gros fil, l'autre à fil fin agissant sur un même noyau ou des noyaux distincts (*fig.* 155).

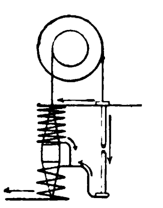


Fig. 155. — Régulateur différentiel.

L'un des électros sert à produire l'écartement des crayons; le second, au contraire, leur rapprochement, ou *vice versa*. Lorsque la lampe fonctionne à son régime normal, les actions des deux électros s'équilibrent. Si I désigne le courant de l'arc; r, sa résistance; I', celui de la dérivation; n, le nombre de spires de l'électro à gros fil; n', celui de l'électro à fil fin correspondant à I' et à la résistance r', on a :

$$Kn(I + I') = K'n'I';$$

d'où l'on tire, en remarquant que :

$$E = Ir = I'r',$$

$$r = \frac{E}{I} = \frac{Knr'}{K'n' - Kn} = \text{constante.}$$

La résistance r du circuit de l'arc reste donc constante, d'où le nom de régulateur à résistance constante.

Ces appareils sont plus sensibles aux variations des facteurs E et I, par le fait qu'ils obéissent à une action différentielle.

Il semblerait que le fonctionnement de ces lampes doive se faire sans avoir recours à l'intervention d'autres organes : il n'en est rien. En effet elles sont construites pour un courant déterminé, et, comme leur réglage est difficile par la modification de l'enroulement des deux électros, on est obligé, le plus souvent, d'ajouter des freins, des ressorts ou autres mécanismes faciles à manœuvrer. Les lampes diffèrent surtout par la nature de ces organes complémentaires : le fonctionnement général étant sensiblement le même pour toutes.

Avant de décrire les régulateurs les plus employés, nous citerons pour mémoire les deux lampes *Gramme* et *Siemens*, les deux plus anciennes, dont la marche était très régulière, mais que leur complication et leur prix élevé ont fait abandonner.

141. Régulateur Cance. — Dans la lampe Cance du type actuel (*fig.* 156), le rapprochement des crayons est dû à la pesanteur, et l'action de cette dernière est rendue plus énergique et plus rapide par l'addition d'un contrepoids sur le crayon négatif glissant entre deux tiges de guidage. Le positif est soulevé au moyen d'un cordonnet s'enroulant sur deux tambours à vis. Le tambour correspondant au crayon positif a un diamètre double de celui du négatif, il en résulte que la marche du premier est deux fois celle du second et, comme les charbons ont la même section, le point lumineux reste fixe. Des galets de guidage amènent le cordonnet tangentiellement aux spires du tambour, et un taquet fixe le force à monter ou descendre le long de l'axe de rotation.

Il n'y a qu'un électro, mais il est à deux enroulements; le fil fin du solénoïde en dérivation a ses prises de courant aux bornes mêmes de la lampe. L'intérieur de l'électro comporte deux noyaux de fer doux, l'un fixe, l'autre mobile. Ce dernier, placé à la partie inférieure supporte, au moyen de deux tiges, un plateau horizontal qui vient agir contre un deuxième plateau monté à frottement doux sur son axe de rotation et portant sur sa face supérieure deux cônes métalliques. Ce plateau a pour but de produire l'écartement des crayons. A cet effet, les deux parties coniques viennent buter contre une barrette calée sur l'arbre de rotation mis en relation avec celui des tambours des crayons au moyen de deux pignons dentés.



Fig. 156. — Lampe Cance.

Le fonctionnement est facile à comprendre. Les charbons étant en contact, lorsque le courant passe, le noyau de fer doux, vivement attiré, soulève les deux plateaux et, au moyen des deux petits cônes, force la barrette à tourner. Dans son mouvement, elle entraîne la rotation du pignon correspondant qui, en agissant sur celui des tambours, oblige les crayons à s'écarter. Si l'écart devient trop considérable, le champ magnétique du solénoïde n'ayant plus la même intensité, l'armature descend et les plateaux se séparent; la pesanteur peut alors intervenir librement pour produire le rapprochement des charbons. L'adhérence entre les deux plateaux forme frein et agit progressivement. Pour diminuer la rapidité de la descente des crayons, l'électro porte à sa partie supérieure un épanouissement polaire qui aimante par induction le pignon calé sur l'arbre des tambours et ralentit, en conséquence, le mouvement de ce dernier.

La construction de cette lampe est faite avec beaucoup de soin, l'isolement des diverses pièces est assuré d'une manière

complète. Le globe est maintenu par les tubes de guidage des porte-charbons, il supporte à sa partie inférieure un cendrier en verre. Les lampes les plus employées sont celles de 6 à 8 ampères. Les charbons ayant la même section, on est obligé de donner à l'appareil une hauteur assez considérable.

142. Lampe Japy. — Elle est à point lumineux fixe, c'est-à-dire que les deux crayons sont mobiles, leur rapprochement a lieu sous l'action de la pesanteur; un mouvement pendulaire commandé par les électros régularise cette action et produit l'écartement des crayons à l'allumage (*fig.* 157).

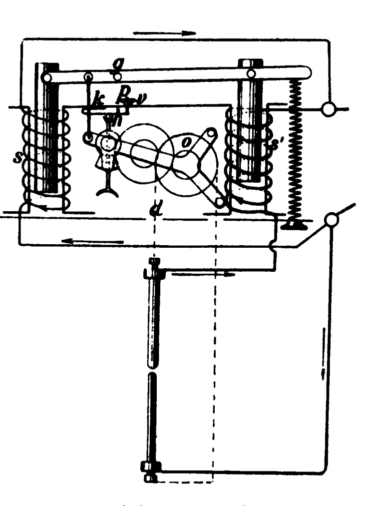


Fig. 157. — Lampe Japy.

Les deux charbons sont réunis par une chaîne de Galle *d*, s'engageant sur une roue dentée *o* engrenant avec un mouvement d'horlogerie à échappement à ancre. Une bielle *k* réunit ce mouvement à un balancier oscillant autour d'un axe *g* et supportant les noyaux des deux électros. Le solénoïde à gros fil *s'* a pour effet d'arrêter le mouvement d'horlogerie en engageant dans l'encoche, dont est munie l'ancre à sa partie supérieure, une pointe fixée à la plaque réunissant les électros. Le solénoïde à fil fin *s*, au contraire, branché sur les bornes de la lampe, déclenche les ailettes de l'ancre et permet à la roue qui commande la chaîne de tourner sous l'action de la pesanteur. Un ressort *p*, portant la pointe *h*, a sa tension réglée par une vis extérieure *v*; de cette façon on obtient pour l'arc l'écartement nécessaire en plaçant le balancier dans une position convenable pendant le fonction-

nement même de l'appareil. L'action de réglage est donc intermittente.

Au repos, les crayons sont écartés, et le noyau de l'électro à gros fil empêche tout mouvement de l'ancre. Lorsque le courant passe, le noyau du solénoïde à fil fin vivement attiré déclenche le mouvement qui se met en marche sous l'action d'une masse surmontant le crayon positif ; les charbons viennent en contact. Le courant pouvant, dès lors, passer par *s'*, tout le mécanisme est soulevé par le balancier en faisant tourner la roue dentée et, par suite, la chaîne de Galle, de manière à produire l'écart des charbons jusqu'au moment où, devenant trop grand, l'électro *s* intervient à son tour.

Cette lampe, outre la faible hauteur de son mouvement de réglage, présente l'avantage d'avoir un globe très restreint, 60 millimètres, qui permet la mise en place des charbons sans avoir à le retirer. Les porte-charbons peuvent tourner autour de leurs glissières, ce qui rend leur orientation facile. Toutes les pièces construites mécaniquement sont interchangeables, comme dans les lampes américaines. L'intensité de ce régulateur, qui convient plus particulièrement pour l'éclairage intérieur, varie de 2ª,5 à 12 ampères.

143. Lampe Kremenezki. — Pour terminer la série des lampes à engrenages, nous citerons la lampe Kremenezki, dont l'application vient d'être faite pour l'éclairage de l'Avenue de l'Opéra à Paris, où elle fonctionne à courants alternatifs. Les deux porte-charbons sont réunis par une chaîne passant sur une roue *a* à empreintes (*fig.* 158). Le porte-charbon supérieur est muni d'un contrepoids qui tend à rapprocher constamment les crayons. La roue *a* commande, au moyen d'une série d'engrenages, une roue à ailettes et un volant *b* contre lequel vient frotter un sabot *c*, qui peut ralentir ou même arrêter tout le mécanisme de réglage. A cet effet, il est monté sur une tige *d* reliée à un fléau horizontal, ou balancier, dont les extrémités portent les noyaux des solénoïdes H et I, montés, le premier en dérivation, le second en série. Lorsque la lampe est bien réglée et que l'arc a sa longueur normale, le balancier est parfaitement horizontal ; le sabot repose sur le volant et l'empêche de tourner. Le

fléau porte aussi une tige *k* qui suit les mouvements du bras correspondant du balancier ; elle peut ainsi élever ou abaisser tout l'ensemble du mécanisme de réglage et, par conséquent, écarter les charbons solidaires de ce dernier par l'intermédiaire de la chaîne qui les relie.

Le fonctionnement de l'appareil est fort simple. Au début,

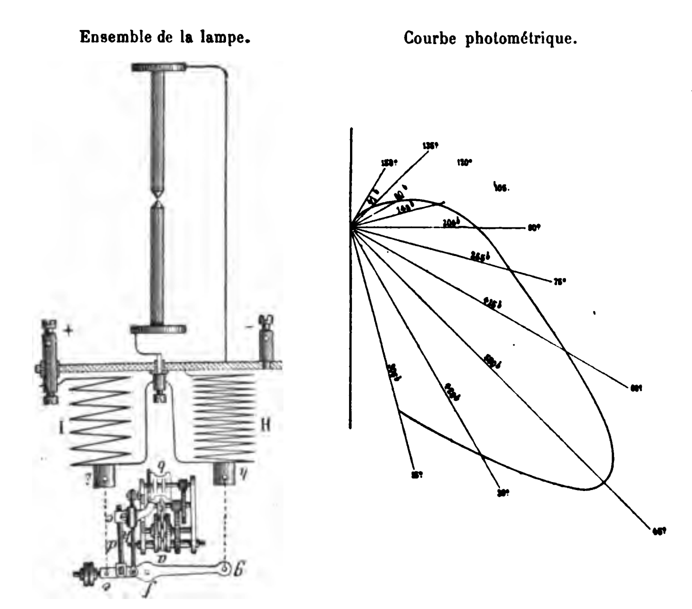


Fig. 158. — Lampe Kremenczki.

les charbons sont écartés. Le courant, en passant dans le solénoïde H, attire son noyau et fait basculer le balancier. Le sabot est soulevé, et les charbons peuvent se rapprocher jusqu'au contact. Au moment où le courant passe dans I, le fléau bascule en sens inverse, et l'arc est formé. Le balancier oscille alors dans un sens ou dans l'autre, suivant que l'un ou l'autre solénoïde l'emporte. Ses mouvements sont amortis au moyen d'une pompe à air et de la roue à ailettes. Le réglage se fait en avançant plus ou moins le contrepoids *e*.

Le graphique 158 donne les intensités lumineuses de cette lampe sous différents angles, pour une intensité de 14,4 ampères et un voltage de 33,4 volts. L'arc est enveloppé d'un globe en opale, et la lampe montée dans une lyre du modèle de la figure 169.

144. Lampe Pieper. — Au lieu de recourir à des engrenages pour produire le ralentissement du mouvement des charbons, on peut employer une poulie sur laquelle on fait agir un frein commandé par un électro. C'est le principe de la lampe Pieper (*fig.* 159).

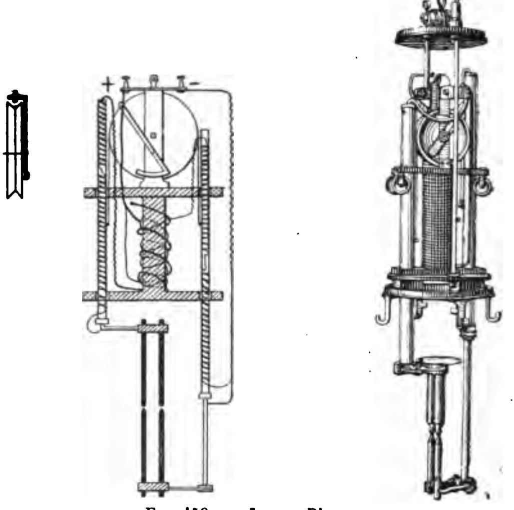


Fig. 159. — Lampe Pieper.

Dans cet appareil la poulie-frein est placée à la partie supérieure. Sur la gorge de cette poulie s'engage un cordonnet en soie fixé aux deux tiges des porte-charbons ; les deux noyaux se déplaçant, le point lumineux reste fixe.

Les deux solénoïdes à fil fin et à gros fil sont enroulés en sens inverse sur un même barreau de fer doux dont les épanouissements polaires très larges sont percés d'orifices pour

le passage des tiges des porte-charbons. Chacun des fils du solénoïde se prolonge ensuite sur l'une des tiges, et le sens de l'enroulement change vers le milieu, de manière à présenter un pôle conséquent en cet endroit.

Au début, les charbons sont en contact ; lorsque le courant passe, l'électro excité par le solénoïde à gros fil donne un champ magnétique de sens déterminé qui agit sur les porte-charbons et produit l'écartement des crayons. Si la résistance devient trop considérable, le solénoïde à fil fin l'emporte, le champ de l'électro change de sens et, en agissant à son tour sur les pôles des solénoïdes mobiles, provoque le rapprochement des crayons. Quand le régulateur fonctionne à longueur d'arc convenable, les champs produits par les deux enroulements s'annulent.

Le déplacement des charbons est modéré par l'action du frein qui oscille autour d'un excentrique fixé par une vis sur la chape même de la poulie. Pendant le rapprochement des charbons, l'excentrique dont le rayon va en augmentant n'agit pas; le contraire a lieu au moment de l'écart, la poulie en tournant entraîne avec elle, au moyen d'une dentelure, le frein dont le rayon d'oscillation diminue de plus en plus. La pression sera d'autant plus énergique que l'écart tend à être plus brusque. Cette lampe exige beaucoup de soins dans la construction ; l'enroulement des solénoïdes est protégé par une enveloppe métallique en laiton. Des galets assurent le guidage des porte-charbons. Tout le système est enfermé dans une chemise en tôle qui le protège contre la poussière.

Cette lampe a été établie souvent pour fonctionner avec deux ou trois paires de crayons parallèles, de manière à prolonger la durée de l'éclairage. Au moment de l'allumage, une seule paire de crayons est au contact. L'arc s'établit entre les deux; quand leur usure est telle que les deux charbons voisins se rencontrent, un nouvel arc se forme entre ces derniers. L'arc passe ainsi d'une paire à l'autre, toutes les fois qu'une longueur de crayons égale à celle de l'arc se trouve consumée. Ce changement est très sensible à la vue, aussi cette disposition ne convient-elle que pour les éclairages extérieurs où la fixité de la lumière a moins d'impor-

tance. Cette observation s'applique, du reste, à toutes les lampes à plusieurs paires de crayons. Les porte-charbons sont munis de crochets avec vis de serrage faciles à manœuvrer. Les crayons sont enfermés dans un globe assez volumineux fixé au corps même de la lampe par quatre crochets.

145. Lampe Bardon. — L'organe de réglage du régulateur Bardon est constitué par une poulie avec frein. Il existe deux modèles de lampes Bardon, nous ne nous occuperons que du dernier. Il n'a qu'un solénoïde à deux enroulements à gros fil et à fil fin; son noyau mobile placé au centre de la lampe agit sur un levier ou frein servant à l'amorçage de l'arc et au ralentissement dans la séparation des charbons. Une cordelette en soie supportant les crayons s'enroule autour de poulies formant une sorte de moufle; les bouts viennent s'attacher aux extrémités du levier (*fig.* 160).

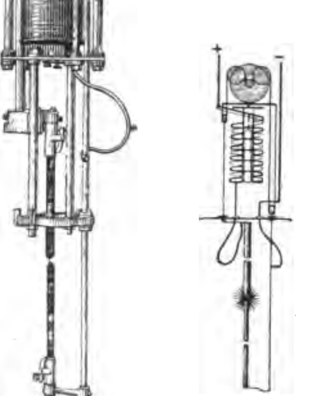


Fig. 160. — Lampe Bardon.

Au repos, les crayons sont amenés en contact par le poids même du positif. Lorsque le courant vient à passer, l'électro, excité par le courant en série, a son noyau soulevé, il immobilise le frein en produisant la séparation des crayons pour l'amorçage. L'excitation du fil en série est combattue par celle en dérivation au fur et à mesure de l'augmentation de l'arc, c'est-à-dire de la résistance, jusqu'au moment où elle la dépasse. Le volant, alors desserré, permet la descente ou défilage des charbons sous l'action de la pesanteur.

La lampe Bardon nécessite au début un bon réglage; mais, celui-ci une fois obtenu, son fonctionnement est très régulier, et la lumière présente une grande fixité. Cette lampe se cons-

truit également avec son mécanisme en dessous, de manière à renvoyer la lumière de l'arc vers le haut, ce qui est très utile lorsqu'il s'agit d'obtenir une lumière diffuse. La durée des crayons peut atteindre dix-huit heures.

146. Lampe Pilsen. — Chaque fois que le noyau, se déplaçant dans un électro, est formé par un barreau de fer doux, le réglage n'est pas uniforme. Cette inégalité tient à ce que, le champ d'un électro n'étant pas constant, son action sur le noyau de fer doux varie avec sa position. On a donné à l'armature une forme en fuseau, de manière à compenser l'inégalité du champ. Bien qu'approximatif, ce résultat est déjà meilleur, il a été réalisé dans la lampe Pilsen due à Piette et Krisik (*fig.* 161).

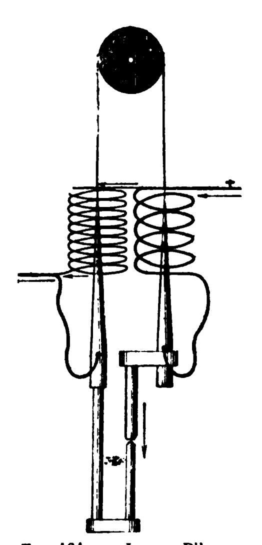


FIG. 161. — Lampe Pilsen.

Aux deux extrémités d'un fil passant sur une poulie sont suspendus deux tubes creux en laiton, contenant chacun une armature en fer doux conique se déplaçant à l'intérieur d'un solénoïde.

L'électro correspondant au charbon positif est à gros fil, celui du crayon négatif à fil fin. Le contact des crayons est assuré au début par leur propre poids. Lorsque le courant vient à passer, il agit sur le solénoïde à gros fil qui soulève son armature et produit l'amorçage de l'arc. Si la résistance devient par trop considérable, la dérivation du solénoïde à fil fin agit à son tour et attire le porte-charbon négatif, c'est-à-dire qu'il y a rapprochement des crayons. La régularité du fonctionnement résulte de l'antagonisme de ces deux électros. L'usure linéaire des deux crayons est la même, c'est-à-dire que le positif a un diamètre double du négatif ; le point lumineux reste donc fixe.

Dans la disposition adoptée par M. Henrion, de Nancy,

l'électro à fil fin comporte, en outre, quelques tours de gros fil. Un troisième circuit réunit le pôle négatif au point de jonction du gros fil et du fil fin. En marche normale ce circuit est ouvert, mais il se ferme automatiquement lorsque le courant ne passe plus dans les charbons, c'est-à-dire que le circuit n'est pas interrompu, condition indispensable dans le montage des lampes en série.

Les tubes contenant les noyaux de fer doux sont guidés dans leurs mouvements au moyen de galets glissant sur des tiges de guidage. Un globe, en verre dépoli, entoure entièrement les crayons. Ces derniers sont maintenus par de simples ressorts d'une manipulation fort simple.

M. Henrion construit des lampes de toute intensité depuis 3 ampères. On peut les monter en dérivation avec 52 volts ou en série avec 42 seulement. Pour empêcher toute oscillation de la lumière dans les lampes montées en dérivation, la poulie molletée, sur laquelle est enroulé le cordonnet, est munie d'un frein formé par un cliquet s'opposant à tout mouvement dans le sens de l'écart des crayons. Ce déplacement ne peut avoir lieu qu'en faisant glisser le cordonnet sur la poulie.

Les lampes Pilsen, remarquables par leur simplicité et leur fonctionnement régulier, sont assez répandues en Allemagne et en France.

147. Lampe Thomson-Houston. — L'emploi d'un frein agissant sur un volant vertical n'est pas le seul usité. La Société Thomson-Houston, dans un régulateur différentiel très connu en Angleterre et en Amérique, l'utilise sous une forme un peu différente.

Dans cette lampe le charbon négatif est fixe, le positif tend à descendre sous son propre poids. Les deux électros à fil fin et à gros fil, placés horizontalement, ont la même armature verticale articulée autour d'un axe horizontal portant une troisième tige formant frein et pouvant arrêter la descente du crayon positif. Une pompe à air amortit le mouvement de ce frein (*fig.* 162).

Lorsque le courant ne passe pas, les deux charbons sont en contact; au moment où il parcourt l'électro à gros fil,

l'armature est attirée, il y a soulèvement du positif ; l'arc est amorcé.

Suivant les oscillations de cette armature, le frein coince ou abandonne le crayon positif. Il peut se faire que, par suite de frottements anormaux, les crayons ne puissent plus s'approcher. C'est alors qu'intervient un troisième électro vertical qui a pour but de produire ce rapprochement.

La lampe Thomson-Houston, comme tous les régulateurs différentiels, peut se monter facilement en série. Dans ce cas

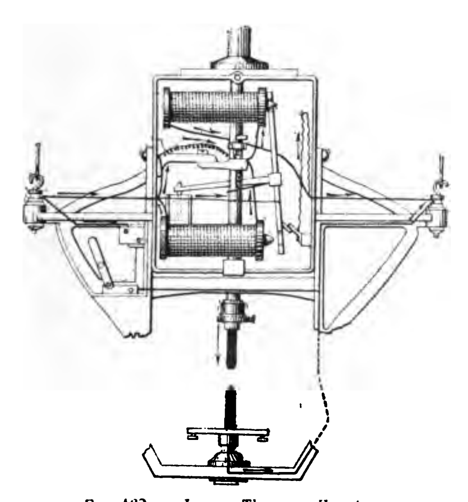


FIG. 162. — Lampe Thomson-Houston.

il est nécessaire que l'extinction accidentelle d'une lampe n'entraîne pas celle de tous les appareils. A cet effet, chaque régulateur est muni d'un petit électro à fil très fin, destiné à mettre la lampe en court-circuit, c'est-à-dire à avoir ses deux pôles réunis directement. Tant que l'appareil est en service, le petit électro est sans action ; mais, si la résistance devient trop considérable, il agit sur son armature qui établit le courant direct. Cet organe constitue la veilleuse automatique. Cette lampe est très employée pour l'éclairage public où l'on dispose les arcs en série.

On pourrait multiplier les exemples de régulateurs; on comprend aisément que le nombre doit en être très considérable, car il suffit de modifier un des organes pour donner naissance à un nouvel appareil. Il sera du reste facile de les rapprocher d'un des types décrits précédemment.

148. Organes des lampes à arc. — *Mécanisme.* — D'une manière générale, les lampes à arc sont des appareils délicats et compliqués qui nécessitent une plus grande attention que les autres systèmes d'éclairage. On comprend donc tout l'intérêt qu'offre un régulateur simple et robuste.

Au point de vue de la nature des courants, le principe reste le même, il faut avoir soin seulement, pour les courants alternatifs, d'employer des noyaux lamellés pour empêcher tout échauffement par les courants de Foucault ou l'hystérésis.

La force électromotrice étant sensiblement constante, la puissance lumineuse d'un régulateur dépend donc de son intensité électrique. Les intensités les plus répandues sont comprises entre 3 et 25 ampères. Au-dessous de 3 ampères, la production de l'arc voltaïque ne présente plus guère d'intérêt. Pour les courants alternatifs, la formation de petits arcs est très difficile ; avec un potentiel constant, si la stabilité de l'arc est suffisante, il faut employer des procédés particuliers pour prolonger la durée d'allumage et faciliter le rallumage en cas d'extinction. On introduit une self-induction qui augmente la force électromotrice sans faire varier l'intensité efficace ni la quantité d'énergie consommée.

D'une manière générale, le rapprochement des crayons se fait sous l'action de la pesanteur ; l'écart, au contraire, est obtenu par un mouvement d'horlogerie, un moteur électrique ou un solénoïde. Si ces deux actions ont lieu d'une manière continue, le réglage se fait d'une façon constante. Il peut être intermittent, et alors, pour empêcher les secousses, on a recours à des organes spéciaux, mécaniques ou électriques.

Les lampes à *mouvement d'horlogerie, à engrenages*, sont toujours compliquées et nécessitent des réparations fréquentes. Placées en plein air, l'oxydation et la poussière ne tardent pas à les détériorer ; aussi les régulateurs de ce genre ne tendent pas à se développer malgré leur fonctionnement

régulier. De plus, leur prix de revient est toujours élevé.

Les régulateurs *dynamos* ont une marche régulière, presque toujours le réglage est continu. Souvent, au repos, les crayons sont écartés, condition favorable à la mise en marche des machines dynamos. Ces lampes ne se sont cependant pas répandues.

Les régulateurs à *solénoïdes* sont les plus simples et les plus employés. Quelques-uns produisent le rapprochement d'une manière continue ; le seul inconvénient qu'ils présentent est leur réglage du début, car il faut que la position relative des deux noyaux reste constante pour que le réglage subsiste. Ce résultat est difficile à obtenir. Dans d'autres, il est intermittent; il faut alors faire intervenir un frein pour empêcher toute secousse. L'action de ce frein peut être énergique, empêchant toute vitesse exagérée, ou procéder également par arrêts successifs; mais, quel que soit le système, il doit cependant permettre un mouvement de recul à l'allumage. Quelques lampes à action continue sont également munies d'un frein qui n'a d'autre but que d'empêcher les crayons de prendre un mouvement oscillatoire à l'allumage.

Dans les lampes à solénoïdes, les crayons sont réunis, en général, par l'intermédiaire d'un cordonnet de soie dont la longueur varie avec la température et l'état hygrométrique de l'air; de plus, il arrive que, sous l'action d'une secousse un peu forte, le cordonnet casse; le régulateur doit être disposé de manière à en permettre le remplacement rapide. Une chaîne métallique est préférable. Pour des raisons analogues, on doit éviter l'emploi des ressorts de réglage qui, à la longue, se déforment et perdent de leur élasticité; il vaut mieux se servir de contrepoids.

Les diverses pièces métalliques des lampes se font en laiton et en fonte, sauf pour les noyaux des électros où l'on doit employer le fer doux. Les fils conducteurs sont en cuivre entouré d'une substance isolante. Lorsque les diverses pièces doivent être séparées électriquement, on emploie la résine, le mica ou la fibre vulcanisée. Les isolants, résistant à une haute température, sont préférables, car ils ne sont pas détruits au moindre échauffement de l'appareil. D'une ma-

nière générale, il faut donner aux pièces une résistance suffisante pour vaincre les causes accidentelles de dérangement. Leur marche nécessite alors 10 0/0 de l'énergie totale de la lampe.

Les organes du mécanisme de la lampe sont protégés par une chemise en tôle ou en verre. Cette dernière substance, bien que permettant de suivre le fonctionnement intérieur, est trop fragile. La partie renfermant le mécanisme ou boisseau doit avoir une hauteur assez faible, de manière à pouvoir augmenter la longueur des crayons sans modifier la hauteur totale de l'appareil.

Les régulateurs en *série* sont à peu près abandonnés ; ceux en *dérivation* sont beaucoup plus répandus, car ils ne correspondent pas à des applications spéciales ; cependant ils sont moins nombreux que les régulateurs *différentiels*.

Porte-charbons. — Le boisseau de la lampe présente les ouvertures nécessaires au passage des tiges des porte-charbons. Ces tiges, ayant une très grande longueur, il faut toujours maintenir leur parallélisme. Le guidage peut être obtenu au moyen de galets ou de coulisses spéciales. Dans ce dernier cas, le porte-crayon et la coulisse doivent pouvoir communiquer électriquement, car il est très difficile d'obtenir un bon isolement entre ces deux pièces. Dans un grand nombre de lampes, on se sert des porte-charbons eux-mêmes comme conducteurs du courant.

Les crayons sont maintenus sur les porte-charbons au moyen de pinces, de vis. Les systèmes à vis ont l'inconvénient d'être difficiles à manœuvrer pendant le fonctionnement de l'appareil, mais le crayon est bien maintenu. Avec les ressorts, la manœuvre est plus simple, mais à la longue ils perdent de leur élasticité. Il est nécessaire de pouvoir obtenir le déplacement relatif des crayons dans tous les sens.

Les charbons doivent être bien parallèles et se toucher toujours par la pointe, de manière à faciliter la formation de l'arc sur toute leur longueur.

149. Rendement lumineux. — Comme dans tous les systèmes d'éclairage, les fortes intensités sont les meilleures.

Au point de vue du rendement, des expériences ont été faites à l'exposition d'Anvers sur les lampes à courants continus. Le tableau suivant donne les résultats des essais.

LAMPES	VOLTAGE	ÉNERGIE CONSOMMÉE	INTENSITÉ LUMINEUSE EN CARCELS maxima	INTENSITÉ LUMINEUSE EN CARCELS sphérique moyenne	WATTS par CARCEL
	v	watts	carc	carc	w
Jaspar	47,5	950	557,00	192,00	4,9
Gramme	46,0	736	471,00	160,00	4,6
	45,0	585	265,00	115,00	5,1
	46,0	276	145,00	47,00	5,8
Pilsen	46,0	717	446,00	160,00	4,5
	45,5	500	276,00	100,00	5,0
	47,5	380	190,00	66,00	5,7
Pieper	38,5	308	120,00	43,00	7,0
	38,4	268	100,00	35,00	7,4
	38,2	229	94,00	32,00	7,0
	38,4	133	60,00	18,00	8,0

L'énergie dépensée varie donc, pour les arcs à courants continus, de 4 à 8 watts par carcel. Ces divergences s'expliquent en partie par la nature et le diamètre des crayons.

En ce qui concerne les arcs à courants continus le rendement est moins élevé. D'après M. Fontaine, il faudrait compter de 9 à 14 watts par carcel.

§ 5. — Bougies électriques

150. Fonctionnement. — Les premières expériences d'éclairage électrique furent faites au moyen de bougies électriques dues à Jablochkoff. L'appareil n'a guère subi de modifications depuis. Il est formé par deux charbons placés parallèlement à côté l'un de l'autre et séparés par une substance isolante (*fig.* 163). Ils mesurent généralement 4 millimètres de diamètre sur $0^m,25$ de longueur. On les monte

dans deux douilles en cuivre de 45 millimètres de hauteur, ouvertes longitudinalement sur toute leur longueur; ces douilles, amenant le courant, sont maintenues à une distance convenable par une cloison isolante de $0^m,03$ de longueur, empêchant tout contact. La pâte isolante, ou colombin, qui sépare les crayons, est formée par un mélange de sulfate de chaux et de baryte. La lumière est fournie par l'arc qui jaillit entre les deux baguettes. L'usure des charbons doit être la même; aussi, pour ne pas recourir à des baguettes de section différente, on emploie des courants alternatifs. On forme l'arc à l'allumage en réunissant les deux pointes de charbon au moyen d'un filament en plombagine, qui se volatilise sous l'action du courant; il en est de même de la matière isolante, qui disparaît au fur et à mesure de l'usure des charbons.

Fig. 163. Bougie électrique.

Les douilles sont maintenues dans des mâchoires, ou chandeliers, dont l'une est fixe, l'autre mobile autour d'une charnière à ressort.

La durée d'une bougie n'étant que de deux heures environ, il faut, pour une nuit entière, les remplacer assez souvent. On peut les mettre en place dès le commencement, et manœuvrer un commutateur qui envoie le courant successivement dans chacune d'elles.

MM. Jablochkoff et Clariot ont imaginé des chandeliers spéciaux permettant l'allumage automatique des bougies; mais, à la longue, on s'est aperçu qu'il n'était pas nécessaire d'avoir un dispositif particulier. Il suffit de réunir en quantité les baguettes correspondantes de chaque bougie; comme leur résistance n'est pas identique, le courant passe plus facilement dans l'une d'elles dont l'amorce fond. Lorsqu'elle est complètement usée, c'est la moins résistante qui prend tout le courant et ainsi de suite. La dérivation produite dans chaque bougie non allumée constitue une perte d'énergie assez importante.

On s'est préoccupé de supprimer la substance isolante, ou de reporter l'arc à la partie inférieure, de manière à avoir la lumière en dessous; mais tous ces essais n'ont pas abouti.

On a imaginé des bougies concentriques, dans le but de les utiliser avec des courants continus ; de même, le cuivrage des baguettes a été essayé, de façon à les faire durer plus longtemps; mais les résultats n'ont pas été très satisfaisants.

Le principal avantage de la bougie est sa grande simplicité, il est donc difficile d'apporter une modification sans porter atteinte à cette qualité. Par contre, cette lumière manque de fixité ; le rendement lumineux est moindre; de plus, lorsque, par hasard, l'arc s'éteint, il ne se rallume pas seul. Le voltage nécessaire est un peu plus grand que celui des régulateurs à courants alternatifs, 42 à 45 volts. Le colombin provoque, en outre, des changements de couleur dans la lumière ; enfin les crayons coûtent plus cher que ceux des régulateurs ; c'est pour ces divers motifs qu'on préfère ces derniers appareils.

§ 6. — Lampes a incandescence

151. Principe de l'incandescence. — Les appareils précédents ne permettent pas les éclairages de faible intensité ; il faut, dans ce cas, recourir aux lampes à incandescence. Le principe de ce mode d'éclairage consiste à faire passer un courant dans un filament, de section assez faible, de telle sorte que, d'après la loi de Joule, l'échauffement soit suffisant pour rendre ce fil incandescent ; il faut, en outre, qu'il soit assez robuste pour fournir une durée convenable d'éclairage.

Le nombre de substances qu'on peut porter à l'incandescence, sous l'action du courant, est très considérable ; mais la seule qui ait donné un résultat satisfaisant est le charbon. La couleur de la lumière, qui dépend de la nature du corps, est, dans ce cas particulier, d'un jaune se rapprochant de celle du gaz. Elle varie également avec la température, depuis le rouge sombre au blanc éblouissant qu'elle atteint vers 1.800°. A ces hautes températures, le filament ne tarderait pas à se consumer au contact de l'air ; de là, l'obligation de l'enfermer dans un récipient en verre où l'on a eu soin de faire le vide.

L'alimentation d'un filament peut aussi bien se faire à courants continus qu'à courants alternatifs. Il suffit, dans ce dernier cas, pour que l'œil ne soit pas impressionné par les changements de sens du courant, qu'il y ait, au moins, trente alternances à la seconde.

Les lampes sont à un seul filament; on a essayé, à plusieurs reprises, des lampes à filaments multiples, soit pour les courants triphasés, soit pour augmenter la durée de l'appareil, en les mettant en service les uns après les autres; mais les résultats n'ont pas été satisfaisants.

Tout système à incandescence comporte deux parties : la lampe proprement dite, et la monture.

La *lampe* constitue l'appareil d'éclairage, elle est formée par un filament enfermé dans une ampoule en verre vide d'air; le filament et l'ampoule elle-même sont maintenus dans une pièce spéciale, ou culot.

La *monture*, ou *douille*, joue un grand rôle; c'est elle qui sert de liaison entre la lampe mobile et le circuit fixe d'alimentation. Généralement, on la munit d'un interrupteur de courant, analogue au robinet des becs de gaz. La durée de la douille est illimitée, et lorsque la lampe est usée, on doit pouvoir la retirer sans toucher à la monture.

152. Fabrication. — *Préparation des filaments.* — Le principe de la fabrication des lampes à incandescence est sensiblement le même pour toutes, il ne diffère que par la confection du filament. D'une manière générale, on peut employer des fibres de cellulose naturelle ou artificielle que l'on calcine en vase clos. La matière, très homogène, est débitée sous forme de petites lames d'épaisseur voulue. Au début, la section rectangulaire de ces filaments mesurait, après carbonisation, $0^{mm},1$ sur $0^{mm},3$ de côté; on lui a substitué une section circulaire qui, à valeur égale, possède un plus grand périmètre. La longueur dépend de l'intensité lumineuse à obtenir: elle est, par exemple, de 110 millimètres pour une lampe de 10 bougies, et de 115 pour une de 16.

Les filaments sont ensuite placés sur des moules en terre réfractaire, en nickel ou en charbon, qu'on empile dans des creusets en plombagine et qu'on recouvre de poussier de

coke pour empêcher toute introduction d'air (*fig.* 164). On augmente l'homogénéité des filaments en déposant à la surface une couche de carbone, obtenue par la décomposition d'une huile minérale ou d'autres carbures. Il suffit pour cela de les plonger dans le liquide au-dessus duquel on a fait le vide, et de faire passer un courant ; il y a électrolyse, et le carbone se précipite, de préférence, aux points faibles où l'échauffement est plus considérable. Le fil acquiert partout une section et, par suite, une résistance uniformes.

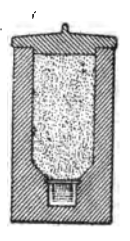


Fig. 164. Cuisson des filaments.

Montage. — Le filament, courbé en fer à cheval ou en boucle, est soudé à deux fils de platine introduits dans un tube en cristal et prolongés par deux fils de cuivre (*fig.* 165). On emploie le platine, parce qu'il a le même coefficient de dilatation que le verre ; il en résulte qu'il ne se produit aucune solution de conti-

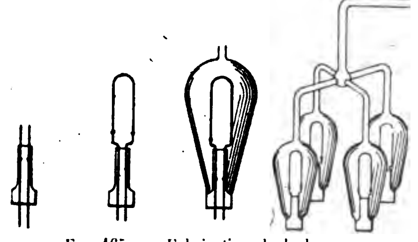


Fig. 165. — Fabrication de la lampe.

nuité entre les deux. On a cherché à remplacer le platine par un autre métal, tel qu'un alliage où un métal commun entre pour la majeure partie ; les résultats n'ont pas été satisfaisants. Les fils de platine doivent être suffisamment longs pour éloigner du verre la partie incandescente, dont la chaleur ne tarderait pas à décomposer le cristal. La soudure du filament et du platine se fait au moyen de petites pinces constituées par une pâte charbonneuse ou bien par un dépôt électrolytique de charbon. La solidité de cette jonction joue un très grand rôle dans la durée de la lampe.

Le support du filament est soudé au chalumeau à une ampoule en verre. A la partie supérieure de cette dernière, on a ménagé un petit tube permettant d'aspirer l'air au moyen d'une pompe à mercure.

Vide. — Généralement, pour simplifier l'opération, on dispose plusieurs lampes ensemble sur un même tube. On commence par faire le vide avec une pompe à piston ordinaire, puis avec des pompes à mercure. Lorsque la pression n'atteint plus que quelques millimètres de mercure, on fait passer dans le filament un courant qui va sans cesse en croissant, de manière à en chasser l'air occlus, dont le dégagement ultérieur pourrait compromettre sa durée. Quand on arrive à un degré de vide suffisant, $0^{mm},1$, on ferme le tube de. l'ampoule au chalumeau. La lampe est complète, il ne reste plus qu'à la fixer dans son culot au moyen d'un scellement au plâtre ou autre substance. Les deux fils de cuivre peuvent aboutir, soit, l'un au culot et l'autre à un contact, soit tous deux à des contacts noyés dans le scellement.

Il est à remarquer que la propriété d'absorber les gaz, que possède le filament, diminue avec la température, d'où une augmentation de la pression du gaz dans les lampes à chaud. C'est donc le degré du vide, pendant le fonctionnement de la lampe, qui offre le plus d'intérêt pratique; d'après M. Heins, ce degré de vide atteint $0^{mm},05$.

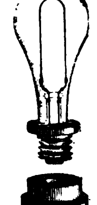
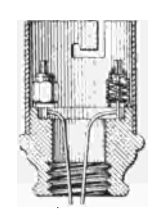


Fig. 166. Lampe Edison.

153. Lampes diverses. — Le nombre de lampes à incandescence est assez considérable. Nous citerons tout d'abord la lampe *Edison* dont le filament est constitué par les fibres d'une variété de bambou. Le culot en cuivre est fileté extérieurement (*fig.* 166). Le remplacement de la lampe se fait en vissant le culot dans la douille. Cette disposition est assez avantageuse au point de vue de la facilité des manipulations. Le courant est amené par deux conducteurs aboutissant l'un à la partie filetée du culot, l'autre à un contact métallique noyé dans le plâtre.

Dans la lampe *Swan*, apparue en même temps que la lampe Edison, le filament est formé par une série de fils de coton tissés présentant un bourrelet aux extrémités. Avant de l'immerger dans l'acide sulfurique étendu d'eau, on l'enroule en forme de boucle, disposition qui a comme avantage de réduire la dimension de la lampe, tout en augmentant la longueur du filament ; en outre, il est plus facile de dissimuler les déformations dues à la fabrication. Primitivement les fils de platine se terminaient extérieurement par deux anneaux. La monture était munie de deux crochets, reliés aux bornes du courant, auxquels on fixait les anneaux. Un ressort placé entre la lampe et son support assurait le contact. Ce système a été abandonné et remplacé par celui à baïonnette usité dans presque toutes les lampes.


Fig. 167. Monture à baïonnette.

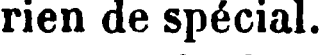
Dans cette disposition (*fig.* 167) le culot de la lampe présente deux saillies qui viennent se loger dans des encoches correspondantes ménagées sur la monture. Pour assurer la liaison électrique, les fils conducteurs de la douille viennent aboutir à deux contacts renfermés dans une cavité. Des ressorts correspondants appuient ces contacts contre ceux du culot. Ainsi disposée, la lampe ne porte pas elle-même son interrupteur de courant que l'on intercale alors sur le circuit.

Le nombre des substances servant à la fabrication des filaments est assez varié. C'est ainsi que le filament de la lampe *Victoria*, disposé en fer à cheval, est formé par une sorte de chiendent carbonisé. Des têtes de vis reliées aux extrémités du filament viennent buter sur des ressorts raccordés au circuit électrique. Elle est montée sur douille à baïonnette.

Dans la lampe *Cruto* le filament est obtenu par le tréfilage d'une pâte, provenant de la dissolution filtrée de 80 grammes de sucre dans 200 grammes d'eau distillée, à laquelle on ajoute goutte à goutte 200 grammes d'acide sulfurique. Les filaments ainsi préparés sont séchés à l'air, puis carbonisés comme à l'ordinaire.

Avec la lampe *Seel* on voit réapparaître les matières végé-

tales; le filament est constitué par des brindilles enlevées aux stipes d'une sorte de palmier; on obtient l'épaisseur du fil en le faisant passer dans une filière triangulaire; il est ensuite calciné comme à l'ordinaire. Puis, pour lui donner de la dureté et de l'élasticité, on le plonge dans un récipient rempli de gaz d'éclairage et on fait passer un courant électrique. Le reste de la fabrication ne présente rien de spécial.



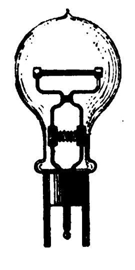
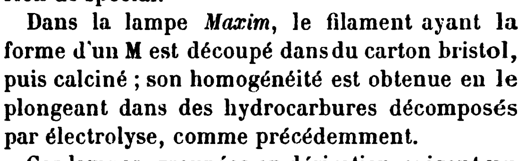


Fig. 168. Lampe Bernstein.



Dans la lampe *Maxim*, le filament ayant la forme d'un M est découpé dans du carton bristol, puis calciné ; son homogénéité est obtenue en le plongeant dans des hydrocarbures décomposés par électrolyse, comme précédemment.

Ces lampes, groupées en dérivation, exigent un voltage plus ou moins considérable, mais, lorsqu'elles sont destinées à être montées en série, le voltage doit être faible. Dans la lampe *Bernstein* établie dans ce but (*fig.* 168), le filament, creux, assez gros, et par suite peu résistant, est obtenu par la calcination d'un petit tube en soie, de forme rectiligne ; il est maintenu par deux fils métalliques reliés par un ressort. Lorsque le filament vient à se rompre, le ressort rapproche les deux supports, et un contact s'établit de manière à ne pas interrompre le courant. Dans le cas des lampes à grande résistance, c'est-à-dire fonctionnant à voltage élevé, il se produit aux bornes du filament une étincelle qui ne tarde pas à détériorer les fils ; on la supprime en intercalant entre les deux bornes une barrette en verre. Des lampes de faible intensité lumineuse peuvent être établies de manière à fonctionner sous un voltage très faible, de quelques volts seulement.

154. Fonctionnement. — Le fonctionnement de la lampe à incandescence est très régulier ; c'est un appareil d'un entretien très simple. Au point de vue de l'intensité lumineuse, on peut la déterminer empiriquement en fonction de l'énergie dépensée. On a :

$$I = \alpha (ei)^2,$$

dans laquelle *e* est le voltage, *i* l'intensité du courant, et *α* un coefficient d'expérience. Le nombre de watts nécessaire est très variable ; il va en augmentant avec la durée de l'éclairage, c'est-à-dire qu'au bout d'un certain temps de fonctionnement il faut remplacer la lampe. La consommation moyenne est de $3^{w},5$ par bougie ; on peut la réduire à $1^{w},5$, mais c'est au détriment de la durée de l'appareil. Le tableau suivant, dû à la Société Française des lampes homogènes, indique l'augmentation d'énergie avec la durée de l'éclairage.

DURÉE	INTENSITÉ LUMINEUSE en bougies	WATTS TOTAUX	WATTS PAR BOUGIE
heures			
0	12,25	37,7	3,08
100	12,50	37,6	3,00
250	12,00	37,5	3,12
400	11,80	37,3	3,12
600	11,50	37,3	3,22
800	11,00	37,0	3,36

L'énergie *ei* peut être absorbée de deux façons : à forte intensité et faible voltage, ou inversement. Les lampes à fort voltage, c'est-à-dire à grande résistance et, par conséquent, à fil fin ont un rendement plus élevé, le diamètre des fils de cuivre amenant le courant est plus faible ; par contre, le filament se brise à la moindre élévation du courant ; les autres résistent mieux aux variations de courant, la lumière au début paraît plus blanche, mais le verre de l'ampoule ne tarde pas à noircir. Les lampes à gros filament se montent en série, le courant peut atteindre des valeurs élevées (5 à 10 ampères) ; mais dans ce cas, comme on l'a vu pour la lampe Bernstein, il faut prévoir un dispositif empêchant l'extinction totale si, accidentellement, un filament vient à se rompre. On peut même, pour ne pas modifier l'éclairage, fermer le circuit sur une lampe de secours, au lieu de réunir directement les bornes de la lampe avariée (Thomson-Houston).

Il convient de ne pas *pousser* les lampes, c'est-à-dire de

leur fournir le courant sous une tension plus élevée que celle pour laquelle elles sont établies; en poussant les lampes, on abrège considérablement leur durée. Elles sont en effet très sensibles aux changements de voltage ; pour un accroissement de 1 volt ou 2, la lumière passe du rouge sombre au rouge blanc. Si les lampes coûtent bon marché et l'énergie électrique assez cher, il n'y a pas d'inconvénient ; mais, si c'est l'inverse, il vaut mieux, pour le même éclairage, augmenter le nombre des lampes et abaisser la tension. On comprend dès lors l'intérêt que présente le voltage constant.

La durée des lampes varie de 800 à 1.200 heures. L'intensité lumineuse va de 1 à 1.000 bougies. Ces dernières, bien que plus agréables à l'œil que les lampes à arc, sont d'un rendement très inférieur qui limite leur emploi; les plus répandues sont celles de 8, 10, 16 et 20 bougies, qu'on trouve couramment dans le commerce. Quant aux voltages employés, ils varient de 25 à 120 volts. Pour des voltages de 150 et 200 volts, les filaments doivent être extrêmement fins; par suite, ils sont très fragiles. Le pouvoir éclairant n'est pas uniforme dans toutes les directions ; il est donc nécessaire, comme pour les lampes à arc, de déterminer l'intensité sphérique ; elle est égale aux trois quarts de l'intensité horizontale prise à 45° avec le plan du filament.

A la longue, cette intensité diminue ; la perte est due en partie au noircissement du verre de l'ampoule. L'explication de ce noircissement n'a jamais été bien définie ; on l'attribue au mercure provenant des pompes à vide, ou bien encore à la dissociation de l'oxyde de carbone, provenant de la combustion du filament par le peu d'air qui reste dans la lampe; quoi qu'il en soit, il est souvent nécessaire de remplacer la lampe avant son usure complète.

On reconnaît que le vide d une lampe est imparfait, lorsqu'au bout d'une heure ou deux l'ampoule s'échauffe par suite de la conductibilité du gaz qu'elle renferme. On peut encore mettre l'ampoule sur une feuille métallique, en communication avec le pôle d'une bobine Ruhmkorff ; l'autre pôle est réuni à l'un des contacts de la lampe; il en résulte dans le vide une effluve d'autant plus légère qu'il est plus parfait.

Pour que la durée d'une lampe soit normale, il faut que le fil ait partout la même épaisseur; cette condition est remplie, lorsqu'en faisant passer un courant très faible aucune partie ne devient brillante.

On peut faire un essai fort simple des lampes du même type, en les groupant sur un tableau. On envoie d'abord un courant assez faible, pour voir celles qui sont trop brillantes, ou qui présentent certains points défectueux; on pousse peu à peu le voltage jusqu'à 6 ou 7 volts, au-dessus du chiffre fixé, de manière à éliminer du premier coup celles qui ne peuvent résister. Les autres peuvent dès lors être mises en service.

Les lampes douteuses sont essayées à part pendant vingt-quatre heures, celles qui résistent sont conservées et considérées comme bonnes.

CHAPITRE X

MONTAGE DES LAMPES

---

§ 1. — Lampes a arc

155. Groupement. — Les régulateurs montés isolément sur un circuit fonctionnent mal avec une machine donnant à ses bornes le courant au voltage exactement nécessaire, c'est-à-dire 45 à 50 volts. Il faut avoir au moins 75 volts et en sacrifier 25 dans une résistance auxiliaire régulatrice. On peut atténuer beaucoup cette perte en groupant les lampes deux par deux ; le voltage aux bornes de la machine est alors de 110 volts environ, soit une perte de 20 volts seulement pour les deux lampes. La perte diminue avec le nombre des ampes mises en série.

La résistance auxiliaire est formée par un fil spécial ou rhéostat ; en faisant varier la longueur de ce fil au moyen d'un contact mobile, on arrive à fixer exactement la perte de voltage nécessaire. Pour le montage des régulateurs à courants alternatifs, on emploie, au lieu de résistance, des bobines de self-induction.

Au début, avec les foyers monophotes, il y avait une machine par appareil. Peu à peu, les dynamos ont pris de l'importance, et on a pu alimenter plusieurs lampes montées séparément sur un circuit différent. Mais, comme on vient de le voir, on a intérêt, pour diminuer la perte dans le circuit, à grouper au moins deux foyers ensemble ; on dit qu'ils sont montés en *dérivation* deux par deux : c'est le système le plus simple et le plus répandu.

Quelquefois, dans le cas de l'éclairage public, pour diminuer l'importance des circuits, on met toutes les lampes

sur le même circuit, c'est-à-dire en *tension* ou *série*. C'est le système le plus économique; mais il faut que tous les appareils fonctionnent ensemble, au point que, dans le cas où l'un d'eux vient à manquer, il ne puisse se produire une extinction totale. On y remédie en munissant chacun d'eux d'une veilleuse automatique, comme on l'a vu pour les lampes Thomson-Houston et Pilsen. La tension aux bornes de la machine est assez élevée; le chiffre le plus souvent admis est de 2.400 volts.

On peut avoir des systèmes mixtes, c'est-à-dire grouper plusieurs lampes par circuit et avoir plusieurs circuits en dérivation.

156. Supports des lampes. — Comme pour les appareils à gaz, les lampes à arc doivent pouvoir se monter dans les conditions les plus variées; mais ces dispositions diverses peuvent se ramener à trois principales. Les lampes sont suspendues, sur poteaux ou sur candélabres.

Suspensions. — Lorsqu'il s'agit d'éclairage intérieur, le mode de fixation le plus simple est de suspendre directement la lampe au plafond. Elle est soutenue par un tube creux vertical, maintenu lui-même par un tampon en bois, solidement fixé. La tige est percée de deux trous sur le côté pour l'entrée et la sortie du câble.

On peut remplacer la tige creuse par un simple crochet sur lequel vient s'appuyer un anneau fixé au boisseau de la lampe. Ce système, fort simple, ne convient que pour les locaux de faible hauteur; il faut en effet employer des échelles pour changer les crayons; de plus, il est impossible de faire varier suivant les besoins la hauteur des appareils.

Si l'on veut faire varier cette hauteur, il suffit de soutenir la lampe par un câble mobile s'enroulant sur deux poulies, l'une fixe, l'autre mobile; un contrepoids attaché à cette dernière fait équilibre à la lampe. Il faut le soulever pour faire descendre l'appareil, et inversement. Au lieu de recourir à des câbles spéciaux pour supporter le régulateur, on peut utiliser les conducteurs eux-mêmes d'amenée du courant (système Crampton, système Cance).

On peut employer le système ordinaire des suspensions : le contrepoids se trouve au-dessus de la lampe, et l'ensemble de l'appareil est maintenu par un support métallique fixé au plafond. Cette disposition a été adoptée pour la manœuvre des lustres des théâtres et pour les lampes des Halles Centrales de la ville de Paris.

Au lieu de contrepoids, le câble de manœuvre peut s'enrouler sur un treuil placé à hauteur convenable sur un des murs du local éclairé ; la manœuvre en est fort simple.

Candélabres. — Dans les espaces découverts on est dans l'obligation de recourir à des supports spéciaux. On a d'abord employé des candélabres analogues à ceux des appareils à gaz, c'est-à-dire que le régulateur a été enfermé dans une lanterne ordinaire; mais peu à peu on a supprimé cette dernière, tout en conservant le candélabre. C'est le dispositif employé par la Ville de Paris. Le candélabre en fonte est creux à l'intérieur, il est surmonté d'une lyre dont le milieu est occupé par le foyer lumineux (*fig.* 169 et 169 *bis*); la partie supérieure reçoit un réflecteur qui renvoie la lumière vers le sol. Le câble est dissimulé dans les branches de la lyre et pénètre ensuite dans le régulateur. Avec ce système, les canalisations sont souterraines, et dans le socle du candélabre on dispose l'interrupteur de courant. Le régulateur étant fixe, le changement des crayons nécessite une échelle. La hauteur de l'appareil étant de 4 à 5 mètres, on voit que la manipulation de l'échelle devient difficile.

On a imaginé de suspendre la lampe à un câble tendu entre deux candélabres placés sur chaque trottoir, comme on l'a fait à Berlin et à Toulouse; mais cette installation est plus coûteuse et assez compliquée. Au lieu de candélabres, le câble peut être tendu entre deux maisons, ce qui est déjà plus simple. Pour changer les crayons, on descend la lampe au niveau du sol.

Potences et pylones. — Le candélabre peut être remplacé par un mât, un pylone ou une potence. La solution la plus simple consiste en un poteau en bois, muni d'un retour d'équerre vers le haut; une poulie reçoit le câble de suspension, qui vient

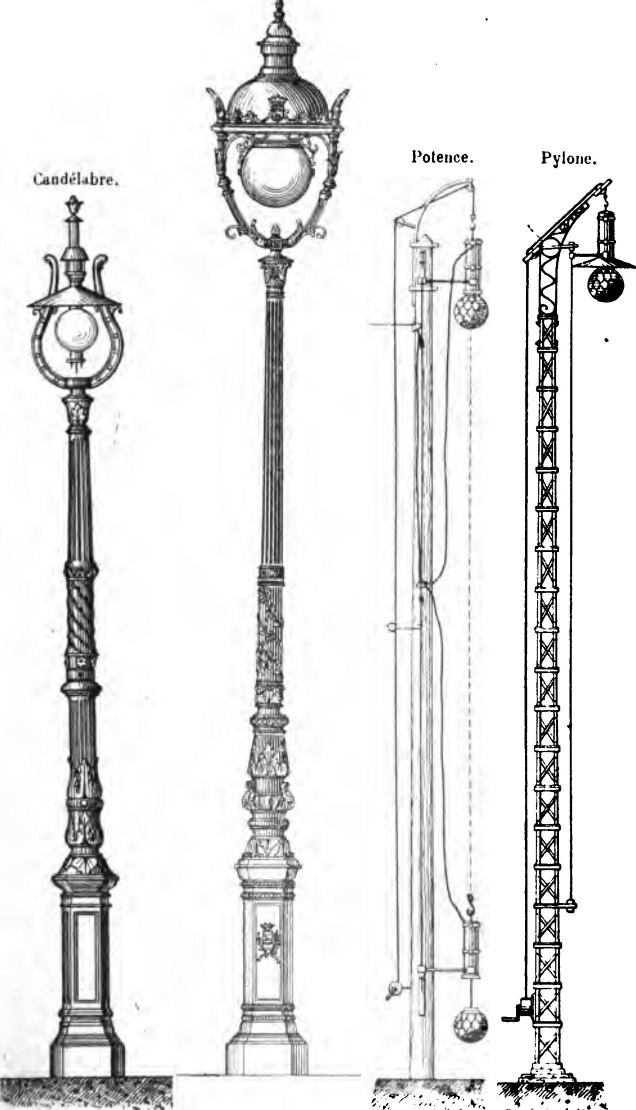


Fig. 169. Fig. 169 *bis*. Fig. 170. Fig. 171.

s'enrouler autour d'un treuil en bas du poteau. Les fils conducteurs, aériens le plus souvent, arrivent au milieu de la potence; ils sont prolongés jusqu'à la lampe par des fils mobiles d'une longueur suffisante pour suivre cette dernière dans son mouvement de descente jusqu'au sol où a lieu le changement des crayons (*fig.* 170). Lorsque la hauteur de la potence devient assez importante, il faut munir le mât de tiges directrices qui empêchent les oscillations par les grands vents. La lampe porte alors deux tringles horizontales terminées par un anneau qui s'engage dans les tiges directrices. Les potences en bois sont spécialement employées dans les usines où l'on cherche avant tout l'économie.

Lorsqu'on veut avoir une résistance plus grande, dans les ports en particulier, on remplace le bois par le fer. Le pylone est alors formé par un treillis en fer monté sur un dé en pierre solidement scellé dans le sol (*fig.* 171).

A la Compagnie du chemin de fer du Nord, on emploie une potence métallique dont le socle en fonte repose sur un massif en maçonnerie; au-dessus du socle, se trouve le treuil autour duquel s'enroule le câble de suspension, qui passe entre deux fers recourbés vers le haut formant le corps de la potence. Des poulies de renvoi amènent le câble jusqu'à la lanterne contenant le régulateur. Les conducteurs aériens viennent se fixer au moyen de deux isoloirs sur la potence; ils sont continués par deux fils souples ayant une longueur suffisante pour suivre la lanterne dans son mouvement de descente. Pour empêcher cette dernière de balancer sous l'action du vent, deux tringles en fer ou queues de guidage sont fixées au cadre inférieur de la lanterne et munies de galets à l'extrémité opposée. Elles roulent sur des tiges directrices fixées le long de la potence. La lanterne a la forme d'un parallélipipède rectangulaire dont toutes les faces sont munies de verres dépolis.

En Belgique, on emploie des potences basculant, au moyen d'un contrepoids, autour d'un axe pour le changement des crayons. Ce système est simple, mais encombrant.

L'espacement et la hauteur des foyers dépendent naturellement de l'intensité du foyer; toutefois il y a des limites qu'on ne saurait dépasser. La hauteur maxima est celle de

10 mètres; mais le plus souvent on se contente de $4^m,50$ à $6^m,50$ pour des intensités de 8 à 12 ampères. A Paris, l'espacement moyen des candélabres électriques est d'environ 30 mètres.

157. Globes et lanternes. — En général, l'arc voltaïque est entouré d'un globe destiné à atténuer son trop grand éclat. L'emploi de globes, quel que soit le système, uniformise plus ou moins la lumière, mais toujours au prix d'une certaine absorption.

Au début, on se contentait de les faire en verre ordinaire, recouvert simplement d'une couche d'oxyde de zinc. A ce procédé par trop primitif, a succédé le verre émaillé, dont le pouvoir absorbant atteint 50 à 60 0/0, puis des verres opalins, des verres clissés et ondulés d'un pouvoir absorbant de plus en plus faible.

On a imaginé ensuite les verres *holophanes* (*fig.* 172). Ces globes, tout en diffusant la lumière, ne diminuent que fort

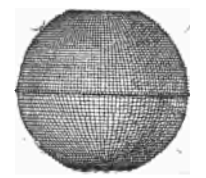
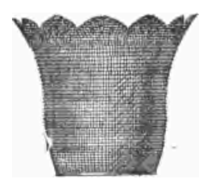



Fig. 172. — Verres holophanes.

peu le pouvoir éclairant. Ils peuvent être simplement diffuseurs ou diffuseurs distributeurs. Ce résultat est obtenu par l'emploi de cannelures croisées sur des globes sphériques ou ovoïdes. Ces cannelures en cristal se placent intérieurement et extérieurement; les cannelures intérieures sont toutes semblables et dirigées suivant des méridiens; les autres, au contraire, sont perpendiculaires aux précédentes, c'est-à-dire suivant des parallèles. La section d'une cannelure présente deux plans, l'un réfléchissant, l'autre réfractant la lumière. Ces globes peuvent affecter la forme de cônes *garde-vue* supprimant les rayons trop éclatants et rabattant la lumière sur le plan horizontal, de *tulipes* dont l'effet est analogue au précédent, et enfin

de globes *diffuseurs* pour l'éclairage extérieur. L'absorption de lumière avec ces verres ne dépasserait pas 15 0/0 ; toutefois il faut les tenir dans un état de propreté parfaite, la poussière se logeant rapidement dans les cannelures. Ils servent indifféremment pour tous les systèmes d'éclairage.

Un autre système, ayant pour but de permettre l'orientation de la lumière suivant certaines directions, est celui des globes *Frédureau* (*fig.* 173).

Ils se composent, en principe, d'enveloppes en verre ou

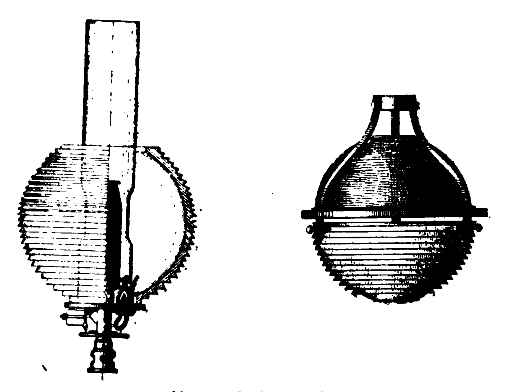


Fig. 173. — Globes Frédureau.

en cristal transparent, munies, sur leurs surfaces extérieures, d'anneaux prismatiques parallèles ou perpendiculaires à l'axe du globe. Leur forme générale rappelle donc celle des anneaux catadioptriques des phares, mais la répartition de lumière qu'ils donnent est toute différente. Ils sont établis suivant deux principes :

1° Les faces supérieures des anneaux ont la forme de paraboloïdes de révolution, ayant tous, comme foyer, le centre du globe ; celles du bas sont planes et perpendiculaires à l'axe ; les rayons lumineux renvoyés sur les faces planes par les faces supérieures donnent un faisceau parallèle ;

2° Les faces supérieures coniques forment, avec les rayons issus du foyer, un angle au moins égal à l'angle limite ; les

faces inférieures devraient être taillées suivant des portions de tore, on se contente de les incliner suivant des surfaces coniques ayant le foyer lumineux comme sommet. On obtient alors un cône lumineux sur le plan horizontal éclairé.

Ces dispositions ne sont, du reste, pas les seules usitées : on peut munir les globes de projecteurs, destinés à envoyer la lumière dans certaines directions.

Les globes diffuseurs ne s'emploient pas seulement avec les lampes à arc, mais avec tous les systèmes d'éclairage, pourvu qu'ils aient une lumière assez vive et que la construction de l'appareil permette de bien centrer le globe.

Les globes, d'une manière générale, affectent les formes les plus diverses; mais, quelles que soient leurs formes, les globes compliquent forcément le régulateur. Il est en effet indispensable de munir ce dernier des organes nécessaires pour le soutenir. Le plus souvent il est maintenu par un cercle métallique qui s'accroche au boisseau même de la lampe ; il enveloppe alors complètement l'appareil ; de là, l'obligation de retirer le globe pour effectuer le changement des crayons. Dans quelques lampes, des dispositifs spéciaux permettent de le faire coulisser le long des tiges des porte-charbons.

On fixe quelquefois les globes aux tiges mêmes des porte-charbons, il faut alors ménager des encoches pour le passage de ces tiges, mais alors leur fragilité en est augmentée.

Quelques constructeurs sont arrivés à leur donner des dimensions tout à fait exiguës. On n'est plus obligé de les déplacer pour la mise en place des crayons. Le procédé est très avantageux, car la descente des globes est toujours difficile et demande des agents soigneux.

Lorsque le globe n'entoure pas les crayons, c'est-à-dire présente une échancrure dans le bas, il faut le munir au dessous d'un récipient transparent, ou cendrier, destiné à recevoir les bouts de crayons qui peuvent s'échapper.

Dans l'éclairage des boulevards, à Paris, les lampes à arc sont entourées de globes fixés à demeure, sous coupole avec réflecteur. Pour permettre le changement des crayons, ils sont coupés en deux hémisphères, dont l'un est mobile autour d'un axe. La charnière et la fermeture sont placées dans le plan de la lyre, de manière que leur ombre se con-

fonde avec les branches de cette dernière. On peut supprimer le globe et le remplacer par une lanterne, comme on l'a fait au chemin de fer du Nord français, à la Perspective Newski, pour l'éclairage de la ville de Londres, à la Compagnie du Middland Railway (*fig.* 174). La lanterne a une forme parallélipipédique ou pyramidale dont toutes les faces, sauf celles du haut, sont munies de verres émaillés. Deux des faces sont mobiles pour permettre le nettoyage de la lampe et le remplacement des charbons. Cette disposition convient plus particulièrement pour l'éclairage des voies, des halles; le seul inconvénient est l'ombre portée par les montants de la lanterne et par la potence; on peut y remédier, mais incomplètement, en fixant la lampe sur son support au moyen d'une crosse. L'emploi des lanternes est moins onéreux que celui des globes.

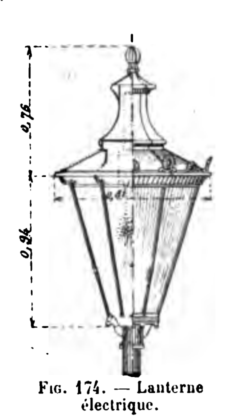


Fig. 174. — Lanterne électrique.

Les verres de ces appareils doivent être essuyés avec soin tous les jours et lavés de temps à autre à l'eau de savon ou à la potasse, car ils ne tardent pas à noircir sous l'action des poussières charbonneuses.

158. Réflecteurs. — Lorsqu'il s'agit d'appareils extérieurs, il faut toujours ramener la lumière vers le sol; à cet effet, ils sont munis de réflecteurs. Leur construction ne présente aucune difficulté; on les fait en tôle recouverte d'une couche blanche de peinture ou d'émail; ils sont fixés au boisseau même de la lampe. Quand le régulateur est enfermé dans une lanterne, le chapiteau, blanchi intérieurement, forme réflecteur. Enfin, dans le cas de régulateur sur candélabre, la lyre reçoit un chapiteau avec couronne qui, tout en formant réflecteur, protège encore l'appareil contre la pluie.

Dans le cas de courants alternatifs, l'emploi d'un réflecteur est indispensable. La disposition renversée s'applique aux courants continus pour l'éclairage intérieur, lorsqu'on veut projeter la lumière vers le plafond simplement ou mieux encore

sur un disque horizontal blanc qui éclaire la salle par diffusion. Quelques lampes ont été disposées dans ce but avec leurs organes vers le bas. Cet éclairage spécial convient pour les salles de dessin.

La maison Siemens emploie, pour l'éclairage des rues ou des cours, un réflecteur de forme tronconique constitué, fort simplement, au moyen d'une toile tendue sur des fils métalliques et peinte intérieurement au blanc de céruse. L'arc alternatif est entouré d'un anneau en verre à section triangulaire qui reçoit les rayons des cônes lumineux, et les renvoie sur la surface blanche du réflecteur (*fig.* 175). L'anneau en verre peut être constitué par quatre ou six segments supportés par un léger cadre métallique, il est ainsi plus facile à construire et moins coûteux.

Ce système de réflecteur est de beaucoup supérieur aux globes opaques placés autour des arcs. Le dessous de la lampe est fermé par un cendrier en fer émaillé, peint en blanc intérieurement; tout en recueillant les cendres et les parcelles de charbons, il renvoie encore la lumière contre le réflecteur. Ce dernier mesure dans le bas 1 mètre à $1^m,30$ de diamètre.

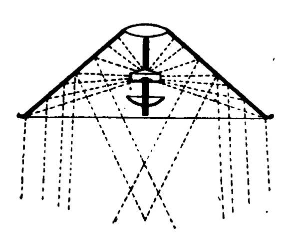


Fig. 175. — Réflecteur Siemens.

L'éclairage par bougies ne présente rien de particulier; elles sont entourées comme les lampes de globes opalins qui diffusent la lumière. Les globes sont supportés par la console ou le candélabre même du chandelier. Le changement des bougies se fait alors au moyen d'une échelle.

§ 2. — Lampes a incandescence

159. Groupement. — Le groupement des lampes à incandescence peut se faire comme celui de tous les appareils électriques, en série, en dérivation ou en un système mixte.

Quel que soit celui employé, la dépense d'énergie est la même; mais, au point de vue du fonctionnement, il y a des différences essentielles. Dans le montage en série, assez rarement employé du reste, l'interruption d'une des lampes amène l'arrêt des autres, à moins qu'on ait prévu des organes de secours rétablissant le circuit. Dans la distribution en dérivation, cet inconvénient n'est pas à craindre ; pour avoir un éclairage uniforme, il suffit que le courant variant avec le nombre de lampes en service soit distribué sous un voltage constant.

Avec le groupement mixte, il y a certaines précautions à prendre pour que l'extinction d'une lampe n'amène pas d'un côté l'augmentation d'éclat de celles qui sont montées en dérivation avec elle, et de l'autre la diminution d'éclat de celles en série.

Nous avons admis que toutes les lampes fonctionnaient sur le même voltage ; cela n'est possible qu'à la condition d'avoir les mêmes pertes de charge entre la dynamo et chaque lampe. Or ces pertes sont forcément inégales. Dans le cas de lampes en dérivation, la différence de voltage d'une lampe à l'autre ne doit pas excéder 1 0/0, et pour l'ensemble elle ne doit pas dépasser 2 volts. On arrive à ce résultat, en proportionnant en tous points, les sections des conducteurs aux intensités du courant, ou mieux encore en groupant les lampes qui fonctionnent en même temps et en alimentant chaque groupe par un fil spécial, comme nous le verrons aux applications.

160. Installation. — Les lampes sont fixées dans des montures à vis ou à baïonnette; une seule est à éviter, c'est celle à crochets qui ne tarde pas à détériorer les fils de platine.

Les douilles à leur tour doivent être placées à l'extrémité des conducteurs. A cet effet elles se terminent par une partie tronconique, dans laquelle passent les fils conducteurs. Ces derniers ne doivent être dénudés que sur une faible longueur, de manière à éviter tout contact. La douille peut se visser à l'extrémité d'un tube creux renfermant les câbles. Ce tube est maintenu par l'intermédiaire d'un rac-

cord fixé par des vis contre un tampon en bois scellé dans le plafond avec du plâtre. Une rosace ornementée peut dissimuler ce raccord, c'est la disposition analogue à celle des suspensions à gaz. On peut remplacer le tube par les fils conducteurs eux-mêmes maintenus par un crochet vissé sur un tampon. Dans ce cas il faut avoir soin de ne pas soutenir l'appareil directement par le câble, mais bien par un nœud de ce dernier reposant sur le crochet ou sur la rosace fixée au plafond. On retrouve avec la lampe à incandescence les dispositions variées des appareils à gaz ; toutefois, cet appareil se prête mieux cependant aux effets décoratifs.

On peut en effet donner aux lampes toutes sortes de positions, les conducteurs pouvant suivre les courbes les plus variées. Les suspensions peuvent être arrangées en forme de *lustre*, de *té* ou de lampe *suspendue ;* mais, quelle que soit la forme adoptée, l'appareil est peu volumineux ; de plus, il est très facile d'orienter la lampe dans tous les sens et, en particulier, de manière à ramener la lumière en dessous.

Lorsqu'il s'agit de placer l'appareil contre les murs, on emploie des *appliques* ou des *bras fixes* à une ou plusieurs branches. La tige rigide en cuivre contenant les fils d'amenée du courant se fixe au mur au moyen d'un raccord contre un tampon en bois.

161. Interrupteurs. — Généralement on emploie un interrupteur spécial pour une ou plusieurs lampes. Il est placé dans l'appartement à éclairer, en un endroit d'accès facile. Cette disposition exige un développement plus grand de circuit, mais elle est très commode ; très souvent cependant la douille porte un commutateur qui permet d'isoler chaque lampe en particulier ; cet interrupteur joue le même rôle que celui des robinets des appareils à gaz. Il y en a plusieurs systèmes.

Dans la douille à vis d'Edison (*fig.* 176), le conducteur correspondant à la partie filetée est coupé en un point, et les deux sections aboutissent à deux pièces isolées formant entonnoir. Un tronc de cône mobile correspond à cet enton-

noir ; lorsqu'il est en contact avec la partie évidée, il est destiné à réunir électriquement les deux sections ; dans le cas contraire, le circuit est interrompu. Pour assurer ce contact,



Fig. 176. — Interrupteur Edison.



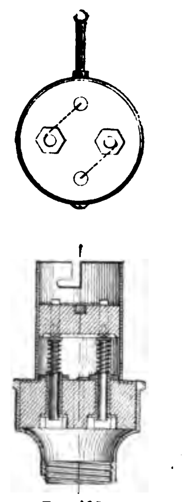
Fig. 177. — Interrupteur Westinghouse.

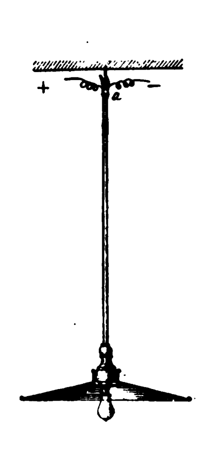
on a fendu la partie tronconique en deux parties, séparées par un ressort plat qui tend à les écarter et à les appuyer contre les parois de l'entonnoir. Le déplacement du tronc de cône est obtenu au moyen d'un ressort en spirale mû par une tige occupant l'intérieur de la clef de l'interrupteur. Cette tige est percée d'une rainure hélicoïdale dans laquelle se meut la tête d'une vis fixée au ressort. Lorsqu'on tourne la clef, la vis se déplace dans la rainure, comprimant ou détendant le ressort. Dans la position correspondant à la compression, la rainure est pourvue d'un cran qui arrête la tête de la vis. Cet interrupteur est assez volumineux.

Dans le système Westinghouse, la douille est munie d'une série de fentes qui permettent de saisir le culot de la lampe. Une des extrémités du filament est terminée par un piton qui pénètre entre deux lames d'un ressort destiné à assurer le contact (*fig.* 177). Deux autres lames, mues par une clef à excentrique, permettent d'interrompre le courant. Ce système fort simple est assez répandu en Amérique.

En France, on emploie plus particulièrement l'interrupteur Grivolas (*fig.* 178). La douille à baïonnette contient l'interrupteur. A cet effet, elle est munie intérieurement d'un cylindre mobile qu'une clef passant au travers d'une fente permet

de déplacer. Ce cylindre est formé par une substance isolante, de la porcelaine en général; il est traversé par deux tiges métalliques conductrices qui, dans une certaine position, assurent la liaison entre les fils de la lampe et ceux d'amenée du courant; si, au contraire, on vient à déplacer de 90°, au moyen de la clef, le cylindre mobile, le contact est rompu, et le courant ne passe plus. Deux ressorts tendent à pousser les conducteurs contre les contacts de la lampe.





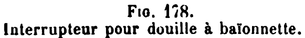


Fig. 178.
Interrupteur pour douille à baïonnette.

Fig. 179.
Montage d'une lampe à incandescence.

162. Réflecteurs, globes, tulipes. — En général, les lampes à incandescence sont munies de réflecteur ou abat-jour en porcelaine, en tôle émaillée ou nickelée, ne présentant rien de bien spécial. Leur mise en place est très facile. Le réflecteur, muni d'un orifice pour laisser passer la douille de la lampe, est maintenu contre cette dernière au moyen d'une goupille (*fig.* 179). On peut encore employer une sorte de collier à trois branches, qui enserre avec trois vis une collerette venue avec le réflecteur.

On emploie, avec les lampes à incandescence, les globes

diffuseurs Frédureau, surtout avec projecteurs, lorsqu'il s'agit d'envoyer la lumière dans une direction déterminée. Le projecteur est en deux parties fixées dans une monture en cuivre terminée par deux crochets. Les deux portions suspendues verticalement renferment la lampe placée au centre même de l'appareil.

Dans ces conditions, la comparaison des lampes nues ou avec projecteur donne les résultats suivants :

INTENSITÉ	LAMPE NUE	AVEC PROJECTEUR
Sur la verticale.........	10 boug,0	6 boug,70
A 45°...................	13 ,5	13 ,50
Sur l'horizontale.........	19 ,0	77 ,00

Le projecteur joue, en somme, le rôle de réflecteur.

Une disposition ingénieuse consiste à entourer l'ampoule d'une tulipe en verre ordinaire ou émaillée à l'aspect très gracieux. La lampe est alors orientée dans une direction déterminée, et, tout en donnant une lumière diffuse, la tulipe dissimule le filament dont l'éclat est trop considérable. On peut, du reste, donner à l'ampoule des formes différentes en rapport avec la décoration des locaux éclairés.

Entretien. — L'entretien est fort simple; il consiste surtout à enlever la poussière. La monture doit être essuyée avec un chiffon imbibé d'essence. Les prises de courant sont polies de temps à autre au moyen de papier à l'émeri pour assurer un bon contact.

Les lampes doivent toujours être employées à l'abri de l'humidité, qui ne tarde pas soit à oxyder les contacts, soit à dériver le courant. C'est un peu dans ce but que les culots doivent être faits en vitrite ou autres matières peu hygrométriques. Dans les caves ou autres sous-sols, les lampes sont suspendues ou enfermées dans des cages vitrées.

En changeant une lampe, on doit toujours s'assurer que les contacts avec les fils d'arrivée du courant sont bien serrés sans interposition de matière étrangère. Si on ne prend pas cette précaution, la douille peut être détériorée par suite d'un chauffage excessif dû à l'accroissement de la résistance en ce point.

CHAPITRE XI

PHOTOMÉTRIE

---

§ 1. — Propriétés des foyers lumineux

163. Détermination de l'intensité lumineuse. — Les diverses sources lumineuses employées à l'éclairage diffèrent entre elles par la manière de transformer l'énergie chimique ou mécanique en énergie lumineuse. Cette transformation, assez complexe, se fait avec une perte considérable d'énergie. Le rendement lumineux, ou photogénique, c'est-à-dire le rapport de la quantité de lumière fournie exprimée en bougies, à l'énergie dépensée pour la produire évaluée en watts, a été déterminé pour les divers foyers lumineux actuellement employés. On a trouvé, comme énergie nécessaire à la production de la lumière, des chiffres très différents : c'est ainsi que, pour la bougie de suif, il faut 124 watts par unité photométrique, tandis que la lampe à arc n'exige que $0^w,8$. Cette manière de comparer les sources lumineuses entre elles est insuffisante. Il faut déterminer également la quantité de lumière fournie par chaque foyer. La photométrie a justement pour but de fixer la valeur lumineuse de chaque foyer, l'un d'eux étant pris comme unité.

Si Q est la quantité de lumière émise par une source lumineuse concentrée en un point, la quantité correspondante de lumière reçue par unité de surface, sur une sphère de rayon R dont le foyer occuperait le centre sera égale à :

$$e = \frac{Q}{4\pi R^2}.$$

$\frac{Q}{4\pi}$ s'appelle l'*intensité lumineuse* de la source réduite à un point; on la désigne par I. La première loi à déduire de cette formule est que l'éclairement en un point est en raison inverse du carré de la distance au foyer.

Si, au lieu d'une source Q, on prend un deuxième foyer Q' on aura un éclairement e', tel que :

$$e' = \frac{Q'}{4\pi R'^2}$$

Si les deux valeurs de e et e' sont égales, il en résulte :

$$\frac{I}{R^2} = \frac{I'}{R'^2},$$

De là une manière fort simple de comparer l'intensité de deux foyers. On détermine, sur deux surfaces identiques, des éclairements égaux; et on obtient la valeur de I' en fonction de I pris comme unité. Cette mesure est effectuée au moyen d'appareils spéciaux ou photomètres.

164. Mesures photométriques. — *Unités de lumière.* — Pendant longtemps, il y a eu autant d'unités de lumière que de pays. Connaissant le rapport de ces diverses unités entre elles, il était très facile de passer de l'une à l'autre. Cependant, pour simplifier, une unité internationale a été admise, c'est la *bougie décimale*, ou *pyr*. Nous verrons par la suite comment on définit cette unité. Les photomètres employés sont également très nombreux; nous allons examiner les principaux.

Photomètre de Foucault. — *Carcel.* — En France, l'unité admise était la carcel. Elle vaut 9,62 bougies décimales; il est donc très facile d'évaluer cette unité en fonction de la première, ce qui explique que la carcel soit encore d'un emploi courant. La carcel est la quantité de lumière fournie par une lampe Carcel dans les conditions indiquées au n° 9.

Le photomètre employé est celui de Foucault. Il se compose d'un écran translucide formant le fond d'une boîte A noircie intérieurement. Une cloison mobile, perpendiculaire

au plan de l'écran, divise la boîte en deux compartiments. L'écran est obtenu en trempant une lame de verre dans un bain d'amidon. Si l'on place les lumières à comparer de

Ensemble du photomètre.

Détails de la boite A.

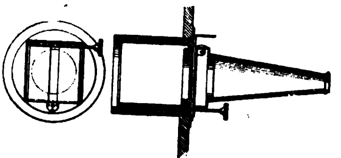


Fig. 180. — Photomètre de Foucault.

chaque côté de la cloison en face de l'écran translucide, la lumière donnera sur cet écran deux ombres rectilignes et parallèles comprenant entre elles une bande brillante ou obscure selon la distance de la cloison à l'écran. Lorsque

l'égalité d'éclairement est obtenue, cette ligne s'évanouit et l'écran paraît uniformément éclairé.

Pour éviter l'influence de la lumière diffuse de la salle, on place devant l'orifice un tube T en métal noirci à l'extrémité duquel on met l'œil. L'étalon lumineux, c'est-à-dire la lampe Carcel, est placé à 1 mètre de l'écran ; le foyer à mesurer se met sur un support mobile le long d'une règle graduée B (*fig.* 180). Cette pièce est mise en mouvement par une manivelle à portée de la main. En déplaçant le chariot, on amène la seconde lumière dans une position telle que les deux parties de l'écran soient également éclairées; on a alors, si R est la distance du foyer essayé à l'écran :

$$I' = \frac{I \times R^2}{1} = \frac{1 \times R^2}{1} = R^2.$$

Pour faire une expérience, il y a quelques précautions préliminaires à prendre : s'assurer d'abord que l'étalon est bien dans les conditions ordinaires, c'est-à-dire qu'il consomme 42 grammes par heure. On place, à cet effet, la lampe allumée, dont la mèche a 10 millimètres de hauteur, et le verre a son coude à 7 millimètres au-dessus du niveau de la mèche, sur une balance automatique tarée à l'avance et indiquant, au moyen d'un timbre, le commencement et la fin de l'expérience qui doit correspondre à une consommation d'huile déterminée.

La balance se compose d'un fléau C, dont le bras gauche se termine par une fourchette avec plateau dans laquelle s'engage la lampe. Un indicateur D fixe la position horizontale de la lampe et fait tomber un marteau E sur un timbre F. La lampe se place dans le plateau faisant équilibre à des poids disposés de l'autre côté. On met sous le plateau une tare, ce qui la fait incliner. Le fléau redevient horizontal lorsqu'une quantité d'huile correspondant à la tare est consommée; le marteau frappe alors le timbre. Au même moment, on met en mouvement un compteur à secondes; puis de nouveau on rompt l'équilibre en plaçant sous la lampe un nouveau poids de 10 grammes et on raccroche le marteau. Lorsqu'il frappe pour la seconde fois le timbre, c'est-à-dire lorsque 10 grammes

d'huile sont brûlés, on arrête le compteur et on lit le temps, 14' environ. Il est dès lors facile d'en déduire la consommation horaire de l'appareil. Pour que l'essai soit bon, il ne faut pas que cette consommation soit supérieure à 46 grammes, ni inférieure à 38 grammes ; on admet en effet que, lorsque la variation au-dessus et au-dessous de 42 grammes n'atteint que 4 grammes, la puissance lumineuse suit une progression correspondante. Dès lors, la mesure de l'intensité du foyer à essayer est facile à faire.

Photomètre Bunsen. — Un second photomètre d'un usage courant est celui de Bunsen. Le principe en est fort simple. L'écran qui reçoit les rayons des lumières à comparer consiste en une feuille de papier rendue translucide à l'aide d'un corps gras. Une tache blanche a été réservée au milieu (*fig.* 181). On dispose la feuille perpendiculairement à l'axe des deux lumières et on la déplace jusqu'à ce que la tache dis-

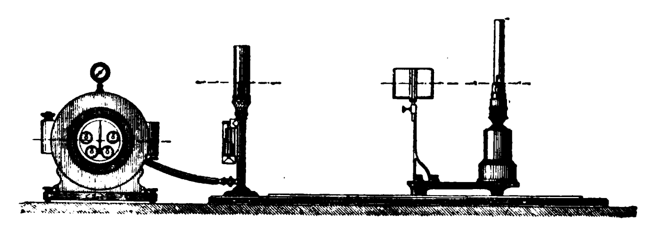


Fig. 181. — Photomètre Bunsen.

paraisse à la vision. A ce moment, il y a égalité d'intensité.

Les rayons lumineux traversent très facilement la partie transparente, tandis qu'ils sont arrêtés et diffusés par la tache opaque. Par suite, si on regarde la feuille d'un côté, la partie transparente, est traversée par les rayons de la lumière opposée, tandis que la partie opaque est éclairée par celle du côté correspondant. Comme il y a symétrie des deux côtés, si la tache disparaît, c'est que l'éclairement est le même pour les deux portions de l'écran ; il suffit alors de lire les distances des deux lumières à l'écran et d'en prendre le rapport des carrés pour avoir la valeur relative de l'un des foyers par rapport à l'autre.

L'appareil basé sur ce principe est fort simple et, de plus, aisément transportable. Il consiste en une règle graduée de 1 ou 2 mètres de longueur. A l'une des extrémités se fixe le bec à essayer qui restera fixe. Un petit chariot portant l'écran et la lampe étalon se place de l'autre côté; il peut rouler le long de la règle jusqu'à ce qu'on obtienne l'égalité de teinte. Cette disposition est préférable à l'emploi d'un écran glissant au moyen d'un coulisseau sur la règle rectangulaire. Afin de faciliter l'observation simultanée de l'éclairement des deux faces de l'écran, on place souvent celui-ci suivant le plan bissecteur de deux miroirs formant entre eux un angle de 140°. L'observateur voit alors, à travers une ouverture ménagée dans la paroi du photomètre, les deux faces de l'écran réfléchies par les miroirs.

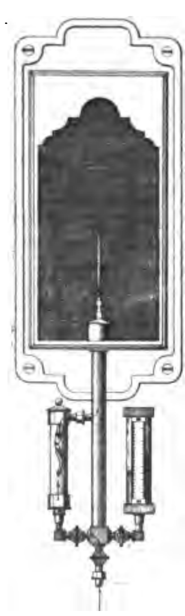


Fig. 182. — Photomètre à jet.

Photomètre à jet. — Cet instrument est d'une grande simplicité. Il est basé sur la propriété qu'ont les becs bougies de donner pour la même pression et le même orifice des hauteurs de flamme variant seulement avec le pouvoir éclairant du gaz. Il consiste en un bec bougie en stéatite muni d'un régulateur. Le tout est enfermé dans une cage vitrée qui l'abrite contre les courants d'air (*fig.* 182). Au moyen d'un index, on fixe une première fois la hauteur de la flamme pour un gaz de pouvoir éclairant connu. Dans les essais suivants, la différence avec cette dimension mesurera la variation de la puissance lumineuse du gaz essayé. Un manomètre placé sous le régulateur indique que la pression est fixée exactement à 30 millimètres; on peut y arriver, du reste, en agissant sur le robinet. On y joint également une éprouvette avec papier à sous-acétate de plomb pour caractériser l'acide sulfhydrique.

Un brûleur de 1 millimètre de diamètre donne 1/10 de carcel avec une hauteur de flamme de $67^{mm},5$. Chaque millimètre de différence en plus ou en moins de cette hauteur correspond à une variation de 0,00022 bougie. La valeur lumineuse du bec bougie est donc de $[1 + 0,00022\ (h - 67,5)]$ bougies. Ce photomètre, employé avec un gaz de pouvoir éclairant connu, peut servir de lumière étalon pour comparer les autres sources lumineuses; mais il est surtout utilisé pour déterminer le pouvoir éclairant d'un gaz sur lequel, sans essai préalable, il fournit à chaque instant des renseignements précis.

Bougie anglaise. — Écran Methwen. — En Angleterre, l'unité de lumière est la bougie spermaceti de 6 à la livre anglaise (453 grammes) brûlant 120 grains ($7^{gr},776$) à l'heure. On admet que le pouvoir éclairant est proportionnel à la consommation, à la condition que cette dernière soit comprise entre 114 et 126 grains, sinon il faut recommencer l'expérience. On peut l'utiliser indistinctement avec les photomètres de Foucault ou de Bunsen.

M. *Methwen* a proposé de prendre comme étalon une portion parfaitement déterminée de la flamme d'un brûleur Argand alimentée au gaz (*fig.* 183). Un écran en cuivre, fixé en avant de la cheminée, porte une plaque mince dans laquelle on a découpé une ouverture rectangulaire de section telle que, pour une consommation de 5 pieds cubes ($141^{lit},3$) à l'heure, le pouvoir éclairant de la quantité de lumière passant à travers l'ouverture soit de 2 bougies spermaceti. La qualité du gaz peut varier de 10 0/0 au dessus ou au dessous sans que sa valeur éclairante soit altérée.

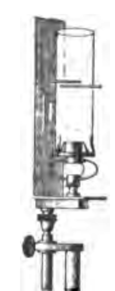


Fig. 183. Écran Methwen.

Comme le photomètre à jet, il peut être employé comme étalon, à la condition de rendre le gaz de pouvoir éclairant fixe. Ce résultat est obtenu par sa carburation au moyen de l'essence de pétrole rectifiée. L'écran Methwen est très usité pour l'étalonnage des lampes à incandescence électrique.

Bougie allemande. — Lampe à acétate d'amyle. — En Allemagne, l'unité de lumière est une bougie de paraffine de

6 à la livre (500 grammes), ayant un diamètre uniforme de 20 millimètres. Le point de fusion de cette matière est à 55°. La valeur éclairante se règle d'après la hauteur de la flamme qui, normalement, doit être de 50 millimètres.

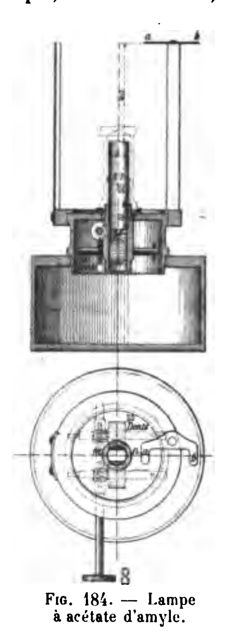


Fig. 184. — Lampe à acétate d'amyle.

M. Hefner von Alteneck a proposé, comme étalon, la flamme libre d'une mèche saturée d'acétate d'amyle. La mèche est formée de filaments de coton qui remplissent complètement un tube de maillechort. Les dimensions de la lampe sont indiquées sur la figure 184. La flamme doit avoir 40 millimètres de hauteur de la pointe au niveau supérieur du tube. Elle doit être mesurée dix minutes après l'allumage. On la règle en montant plus ou moins la mèche au moyen d'une clef à molette ; mais la mèche ne doit jamais sortir du tube de manière à ne pas modifier le pouvoir éclairant de la flamme. L'essai doit se faire à l'air tranquille, puisqu'il n'y a pas de cheminée. La valeur de cet étalon équivaut à la bougie décimale. Les mesures faites avec cet appareil sont plus concordantes qu'avec les bougies. Elles sont, en outre, fort simples, car il est très aisé de se procurer dans le commerce de l'acétate d'amyle.

Photomètre Henry. — Cet appareil très simple (*fig.* 185) est fondé sur la loi de déperdition lumineuse avec le temps d'un corps remarquable par son inaltérabilité chimique, le sulfure de zinc phosphorescent, que M. Charles Henry est parvenu à préparer industriellement ; il consiste en trois tubes noircis intérieurement qui se raccordent. Celui qu'on applique contre l'œil est muni, de ce côté, d'une lentille convergente A à grande distance focale, ayant pour but de supprimer du champ de la vision distincte les parois du tube. Ce tube glisse à coulisse dans un autre présentant deux

échancrures ellipsoïdales en bas et en haut ; un ruban de magnésium de 0m,003 de large, de 0m,15 de long environ, de 0m,0001 d'épaisseur, suspendu à une potence H, est destiné à

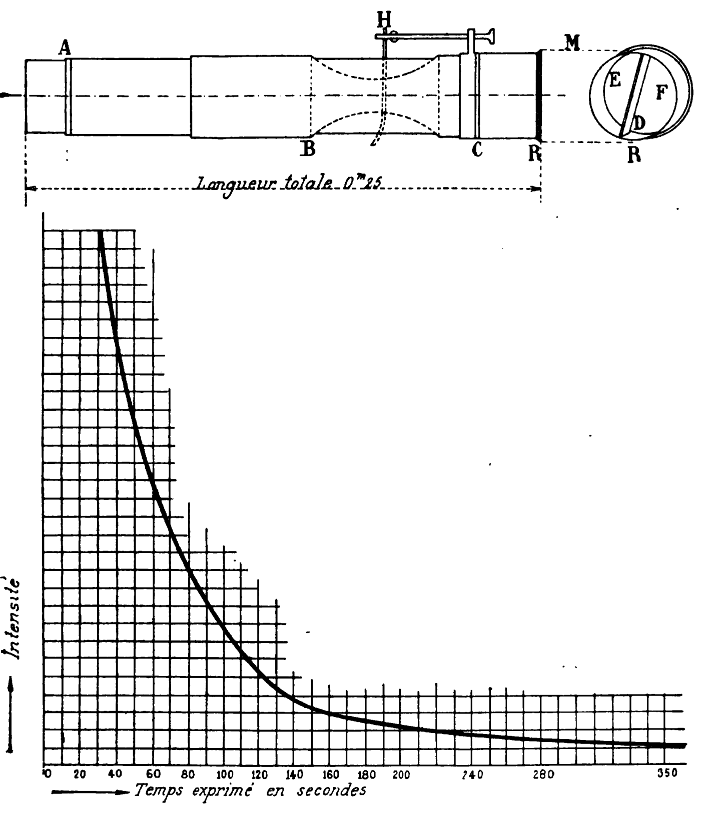


Fig. 185. — Photomètre Henry.

brûler dans cet espace isolé de l'intérieur de l'appareil par deux verres protecteurs B, C ; ces dimensions du ruban suffisent pour donner au sulfure l'illumination maxima.

Sur ce tube moyen sont vissées : intérieurement, une bague qui peut maintenir en vue de la photoptométrie un

nombre variable à volonté de verres dépolis C; extérieurement, le tube antérieur terminé par deux écrans semi-circulaires E,F, séparés par une cloison perpendiculaire D : l'un, formé de verre dépoli de couleur jaune verdâtre identique à la teinte phosphorescente, et auquel on peut substituer, en vue des intensités très faibles, tout autre écran moins absorbant par le simple jeu d'une bague, reçoit la lumière extérieure; l'autre est recouvert de zinc. S'il s'agit de mesurer l'éclairement d'une source extérieure on sépare le tube postérieur du tube antérieur, on allume le ruban de magnésium, on note le temps au moment de l'extinction ; on replace le tube postérieur contre le tube antérieur, on vise la lumière à essayer et on note le temps au bout duquel il y a égalité d'éclat des deux écrans.

En donnant la valeur 100 à l'éclat du sulfure au bout de 85 secondes, éclat égal à l'éclairement de l'écran translucide par une bougie à $3^{m},75$, on a trouvé pour les éclats aux différents temps des valeurs qui sont les coordonnées de la courbe ci-dessus (*fig.* 185), les temps étant portés en abscisses.

L'équation de cette courbe est approximativement, i étant l'intensité, t le temps,

$$i^{0,598}(t + 28,35) = 1701,2.$$

Connaissant avec toute la précision possible le temps au bout duquel il y a égalité d'éclat entre l'écran phosphorescent et l'écran translucide, on prend l'ordonnée correspondant sur la courbe des observations au temps indiqué par le chronomètre et marqué sur l'abscisse; on la rapporte à une ordonnée quelconque exprimée en bougie-mètre et l'on a immédiatement l'éclairement de la source en fractions de bougie-mètre. C'est ainsi que M. Charles Henry a pu mesurer les éclairements de la pleine lune, des points du ciel opposés à la lune, etc.

La coloration verdâtre du sulfure, loin de nuire, contribue beaucoup à la précision des observations, car, suivant une loi bien connue, dès que l'écran phosphorescent est moins lumineux que l'écran translucide, il paraît bleuâtre, l'autre jaunâtre.

165. Vérification du gaz. — *Essai.* — Cette opération a pour but de déterminer le titre d'un gaz, c'est-à-dire la quantité de gaz consommée pour un pouvoir éclairant fixé à l'avance. L'essai a lieu au moyen d'un bec type Bengel à trente trous. A Paris, pour que le gaz soit dans les conditions imposées par le cahier des charges, il faut que la consommation soit de 105 litres par carcel-heure. Pour faire un essai, on place sur le photomètre de Foucault le brûleur à 1 mètre de l'écran, et on ouvre le robinet jusqu'à ce que la flamme ait une intensité égale à celle de la carcel réglée comme à l'ordinaire. La balance est disposée pour donner une consommation d'huile correspondant à 10 grammes. Lorsque le marteau frappe le timbre pour la première fois, en actionnant le compteur de temps, on met également en marche, au moyen d'une transmission, l'aiguille d'un compteur à gaz d'expériences. L'arrêt des deux appareils a lieu simultanément au second coup de timbre. Il suffit de lire la quantité de gaz consommé, soit, par exemple, $24^{\text{lit}},5$, les temps étant proportionnels aux quantités d'huile brûlées, c'est-à-dire à 42 grammes et 10 grammes, on aura pour le titre du gaz :

$$\frac{24,5 \times 42}{10} = 102^{\text{lit}},9.$$

Cet essai doit être répété trois fois de demi-heure en demi-heure.

Le compteur d'expériences, placé à l'avant du photomètre, doit être vérifié assez souvent, tous les huit jours par exemple, au moyen d'un gazomètre spécial (*fig.* 186). La cloche de ce dernier, de forme ordinaire, est surmontée d'une jauge cylindroconique avec entonnoir

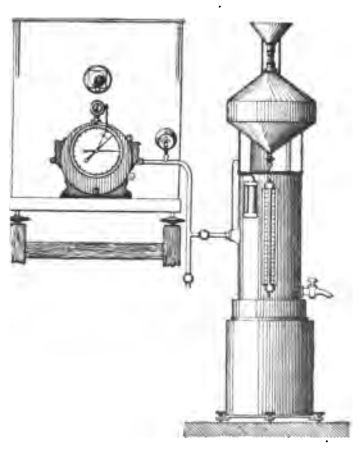


Fig. 186. — Vérification d'un compteur.

dont la contenance de 25 litres est exactement indiquée par un point de repère. La cloche étant remplie de gaz et la jauge d'eau, il suffit de faire écouler cette dernière pour déplacer un volume équivalent de gaz. En passant dans le compteur, l'aiguille doit indiquer exactement le chiffre de 25. La pression de l'écoulement est réglée à 2 ou 3 millimètres d'eau.

Le photomètre à jet et l'écran Methwen sont d'un emploi très commode pour mesurer le pouvoir éclairant du gaz sans avoir besoin de recourir à des essais préliminaires.

Variation du pouvoir éclairant avec les différents pays. — Le pouvoir éclairant du gaz varie avec les différentes contrées; de plus, les essais au photomètre ne sont pas faits avec les mêmes brûleurs. Il est donc nécessaire, pour comparer le gaz fourni dans deux endroits différents, de connaître à la fois le brûleur étalon et le titre de chaque gaz.

A Londres, le brûleur étalon est un bec Argand construit par Sugg; 142 litres ou 5 pieds cubes de gaz ordinaire brûlés dans ce bec doivent donner 16 bougies. Or ce bec Argand aurait un rendement supérieur de 17 0/0 à celui du Bengel de Paris. On peut donc dire que, si 105 litres à Paris donnent une carcel ou 9,6 bougies anglaises, 142 litres à Londres, dans le brûleur Argand, donneront $15^{boug},2$. Le gaz de Londres est donc supérieur de 5,3 0/0 à celui de Paris.

En Allemagne, l'étalon généralement adopté est un bec Argand construit par la maison Elster de Berlin. Ce bec a été étudié de manière à avoir un rendement maximum ; les courants d'air intérieur et extérieur ont été séparés. Dans ces conditions le titre du gaz est de 150 litres pour 16 bougies allemandes. Le gaz de Berlin est inférieur de 6 0/0 à celui de Paris.

Dans les essais de vérification du gaz à Paris, on mesure au compteur la consommation du Bengel type sans faire, comme à Londres, la correction pour ramener le volume indiqué à une pression et à une température constantes. Cette méthode est la plus juste au point de vue des consommations ; elle oblige simplement les Compagnies à corriger le pouvoir éclairant du gaz suivant les circonstances présentes.

166. Mesures photométriques des foyers très intenses. — Avec les appareils précédents les mesures ne sont possibles que si les foyers ont des intensités sensiblement voisines ; il n'en est plus de même si elles sont très différentes et si la source à essayer est très intense, il est nécessaire alors de recourir à des procédés spéciaux :

1° On peut prendre, comme terme de comparaison, une source lumineuse assez élevée et assez constante, dont on a déterminé, au préalable, le pouvoir éclairant au moyen d'un étalon ordinaire, la bougie ou la carcel. Il existe des lampes à gaz ou au pétrole de 5 ou 10 carcels d'un régime suffisamment constant pour pouvoir être utilisées dans ces conditions ;

2° On peut intercaler, sur le faisceau lumineux émis par le foyer le plus intense, un diaphragme muni d'une lentille divergente biconcave : l'éclairement obtenu par la réduction du foyer se trouve amoindri dans une certaine proportion qui permet de diminuer la distance de ce foyer à l'écran.

Dès lors si on pose :

d, distance du foyer à la lentille ;

f, distance focale principale de la lentille ;

α, rayon du cercle éclairé sur l'écran lorsque le faisceau traverse le diaphragme sans lentille ;

α', rayon du cercle agrandi par l'interposition de la lentille dans le diaphragme ;

r, rayon du diaphragme ;

β, distance du diaphragme à l'écran. La divergence des rayons frappant l'écran est augmentée comme si la source considérée était au foyer conjugué, écarté de la lentille d'une distance d' définie par la relation :

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{d'}-\frac{1}{d};$$

on aura ensuite successivement les relations suivantes :

$$\frac{\alpha}{r}=\frac{d+\beta}{d},$$

$$\frac{\alpha'}{r}=\frac{d'+\beta}{d'};$$

d'où :

$$\frac{\alpha'}{\alpha} = 1 + \frac{\beta d}{(d + \beta) f}.$$

Si maintenant on considère que les éclairements produits sans l'interposition et avec l'interposition de la lentille sont dans le rapport des carrés des rayons α' et α, on en déduit que, dans l'expression de la loi des distances, il faut faire intervenir non pas la longueur $d + \beta = l$, mais la distance virtuelle $d_1 = d + \beta + \frac{d\beta}{f}$.

Dès lors, en remplaçant d par sa valeur $l - \beta$, on trouve, toutes simplifications faites :

$$\frac{\mathrm{I}}{\mathrm{I}'} = \frac{\left[l\left(1 + \frac{\beta}{f}\right) - \frac{l^2}{f}\right]^2}{l^2}.$$

Cette méthode, préconisée par MM. Perry et Ayrton, s'applique indifféremment à tous les photomètres.

167. Étalon Violle. — Rapport des unités lumineuses entre elles. — C'est sur la proposition de M. Violle qu'a été adoptée l'unité fondamentale d'intensité lumineuse absolue. L'étalon Violle correspond à la lumière émise par 1 centimètre carré de platine à la température de sa solidification (1.775°). Pour réaliser cet étalon, on fond du platine pur dans un creuset de chaux à l'aide d'un chalumeau oxyhydrique, puis on laisse refroidir. Pendant la solidification dont la durée dépend de la quantité de platine fondu, on observe la lumière émise par la surface du bain au travers d'un écran percé d'un orifice de 1 centimètre carré. M. Siemens a rendu très pratique cet étalon de lumière. Derrière un orifice circulaire r dont la surface mesure un dixième de centimètre carré, il place un ruban de platine traversé par un courant électrique issu des bornes $k_1 k_2$ qui le porte à l'incandescence. On peut augmenter progressivement le courant jusqu'à fusion complète du platine, et c'est immédiatement avant la fusion que l'étalon a sa véritable valeur qui est de

1/10 de l'unité Violle. Au moyen d'une poignée g et d'un mécanisme p, s, h, on peut faire avancer la lame de platine de manière à recommencer l'expérience, s'il est nécessaire (*fig.* 187). On remarquera que M. Siemens prend ainsi le platine à son point de fusion et non à son point de solidification. Or on ne sait pas s'il existe pour le platine une différence entre ces deux points ; d'autre part, il suffit que la section du ruban ne soit pas uniforme et que le métal ne soit pas homogène pour produire des variations assez marquées. Pour toutes ces raisons, on ne saurait affirmer que l'étalon Siemens équivaut exactement au dixième de l'étalon Violle.

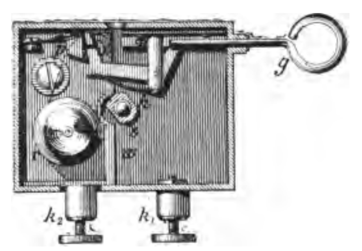


Fig. 187. — Étalon Violle-Siemens.

L'unité courante adoptée par la Conférence internationale (décision du 3 mai 1884) vaut 1/20 de l'étalon Violle ; c'est la bougie décimale, ou pyr.

L'adoption d'une unité fondamentale n'a pas eu comme conséquence la suppression définitive des anciennes mesures ; mais il est très facile de se servir de ces dernières et de les transformer en unités courantes. Le tableau suivant indique le rapport des diverses unités entre elles et avec l'unité fondamentale.

UNITÉS	UNITÉS VIOLLE	CARCELS	BOUGIES allemandes	BOUGIES ANGLAISES	ACÉTATE D'AMYLE
Violle.............	1	2,08	16,4	18,5	18,9
Carcels............	0,481	1,000	7,89	8,91	9,08
Bougies allemandes	0,061	0,127	1,00	1,13	1,15
Bougies anglaises..	0,054	0,112	0,886	1,00	1,02
Acétate d'amyle...	0,053	0,114	0,869	0,98	1,00

La carcel vaut sensiblement la moitié de l'unité Violle,

elle est égale à $\frac{20}{2,08} = 9,62$ bougies décimales, ou pyrs.

168. Flux lumineux. — Intensité sphérique moyenne. — *Définition.* — Dans tous les essais photométriques précédents, nous avons supposé que l'intensité lumineuse mesurée sur l'horizontale suffisait pour comparer tous les foyers lumineux, entre eux. Cette hypothèse n'a plus été admissible lorsque les lampes à gaz à flamme en dessous et les foyers électriques à arc sont entrés dans le domaine de la pratique. C'est en effet sur l'horizontale qu'ils donnent une intensité, sinon la plus faible, ou tout au moins très réduite. On a donc été amené à faire des mesures dans toutes les directions et à chercher une quantité qui puisse résumer toutes ces mesures.

Si l'on prend une sphère de rayon 1, dont le centre est occupé par la source lumineuse, l'éclairement, c'est-à-dire l'intensité suivant la direction multipliée par la surface correspondante, ne sera pas le même aux différents points de cette sphère.

En faisant le total de ces divers éclairements, la somme sera équivalente à celle que donnerait un foyer d'intensité différente, mais constante dans toutes les directions. Cette intensité fictive est ce qu'on nomme l'intensité sphérique moyenne.

Au lieu de mesurer ces éclairements, M. Blondel a proposé de se servir des flux de lumière surtout lorsqu'il s'agit de foyers à arc. Le flux lumineux Φ, c'est-à-dire l'ensemble des rayons de lumière contenus dans un angle solide $d\alpha$, s'évalue en multipliant chaque intensité $I\alpha$ par l'angle solide correspondant. On a :

$$\Phi = \int I\alpha d\alpha.$$

Dans le cas où l'angle solide est un cône à axe vertical, $d\alpha$ peut être représenté par une zone infiniment petite de hauteur dh tracée sur une sphère de rayon R. La surface de la zone de hauteur om étant égale à $2\pi R om = 2\pi R^2 \sin \alpha$, pour une augmentation dh l'accroissement sera égal à $2\pi R^2 \cos \alpha d\alpha$ et, dans le cas de la sphère de rayon 1, on aura :

$$\Phi = 2\pi \int I\alpha \cos \alpha d\alpha.$$

L'unité de flux est le *lumen*, c'est le flux émis dans un angle solide égal à l'unité par une source lumineuse d'une bougie décimale, ou pyr.

On peut construire graphiquement l'expression $I\alpha \cos \alpha d\alpha$ par la méthode de M. Rousseau (*fig.* 188). Sur un axe CA pa-

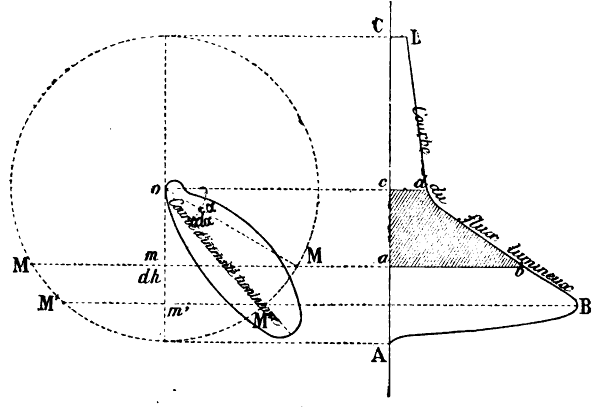


Fig. 188. — Flux lumineux.

rallèle au diamètre vertical de la sphère de rayon R, on projette les plans limitant la zone MM'; on découpe une longueur *mm'* proportionnelle à *dh*, c'est-à-dire à R $\cos \alpha d\alpha$. Perpendiculairement à l'axe CA on porte des longueurs *ab* proportionnelles à $I\alpha$. En réunissant les différents points, on aura la courbe des flux. Pour avoir la valeur du flux Φ contenu dans un angle α, il suffira d'évaluer la surface *abcd* correspondant à cet angle et de multiplier le résultat par $\frac{2\pi}{R}$. Si les intensités sont exprimées en pyrs, le flux sera donné en lumens.

Si on évalue le flux correspondant à toute la sphère, c'est-à-dire à l'angle 4π, il mesurera l'éclairement total de toute la sphère de rayon égal à 1. Ce flux divisé par 4π donnera l'*intensité sphérique moyenne*. Par conséquent, pour avoir cette

dernière, il suffira de mesurer toute la surface ABCD et de prendre l'ordonnée moyenne de la courbe. On peut donc avec une même courbe obtenir l'intensité sphérique moyenne ou le flux total. Quel que soit le résultat cherché, pour construire cette courbe, il faut mesurer $I\alpha$ sous différents angles. On verra plus loin les méthodes employées.

Dans le cas de foyers à arc à courants continus, on peut déterminer, avec une grande approximation, l'intensité Is par le calcul au moyen de deux autres intensités seulement : l'intensité horizontale Ih et l'intensité maxima Im ; on a :

$$Is = \frac{Ih}{2} + \frac{Im}{4},$$

ou encore $Is = 0,35Im$. On peut même calculer directement Im en partant de l'intensité du courant. On a alors :

$$Im = 20i + 0,40i^2.$$

Très souvent, au lieu de mesurer le flux lumineux sur la sphère totale, on se contente de ne prendre que l'hémisphère supérieur ou inférieur. Le calcul est le même. Dans le cas de foyers à arc à courants continus, on peut, pour l'hémisphère supérieur, prendre la valeur $\frac{Ih}{2}$. Pour l'hémisphère inférieur, on peut admettre :

$$\frac{Im + Ih}{2}.$$

Pour les lampes à courants alternatifs, on a d'après Blondel :

$$Is = \frac{Ih}{4} + \frac{Im + Im'}{4},$$

les valeurs $ImIm'$ représentant les deux intensités maxima.

Les bougies électriques ont une intensité sphérique moyenne égale aux 3/4 de l'intensité de face mesurée à 45° au-dessusdu plan horizontal. Pour la lampe à incandescence, elle est considérée comme égale aux 3/4 de l'intensité horizontale mesurée dans un plan à 45° avec le filament.

Lumen-mètre. — M. Blondel a imaginé un appareil permettant de mesurer le flux lumineux en une seule opération. Il se compose (*fig.* 189) d'une sphère métallique S au centre de laquelle se place le centre de la source à essayer. La sphère est coupée dans deux directions opposées suivant des fuseaux qui la divisent en deux parties. Les rayons lumineux qui traversent ces fuseaux viennent se réfléchir sur un miroir elliptique ZZ, en verre taillé et argenté. Si l'on place normalement à l'axe un écran diffuseur NN, les rayons réfléchis viendront y converger, formant une tache annulaire.

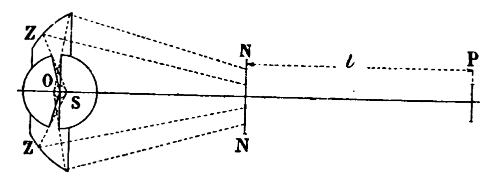


FIG. 189. — Lumen-mètre.

Il suffit alors de mesurer, au moyen d'un étalon, l'intensité lumineuse de cette tache placée à une distance l. L'étalon employé est le plus souvent une lampe à incandescence ou une lampe à acétate d'amyle. Généralement, la tache mesure $0^m,20$ à $0^m,50$ de diamètre, la longueur l varie alors de 2 à 5 mètres.

On tare l'appareil, c'est-à-dire on évalue en flux l'intensité lumineuse d'une tache obtenue avec un étalon photométrique.

Mesure de l'intensité sous différents angles. — Pour mesurer l'intensité sous différents angles, il faut toujours que le flux tombe normalement sur l'écran du photomètre; si ce dernier est fixe, on est obligé de recourir à une disposition spéciale pour réaliser cette condition. Une des plus commodes est celle de MM. Ayrton et Perry (*fig.* 190).

Le miroir plan MM a son centre sur le pied de la perpendiculaire abaissée du foyer à mesurer A sur la ligne du banc photométrique oo' à une distance d. Il est disposé de façon à pouvoir se déplacer autour de l'axe oo' en restant toujours

tangent à un cône droit à base circulaire MSN dont l'angle au sommet est de 90°.

Supposons d'abord le miroir tangent au cône suivant la génératrice SM et, par suite, perpendiculaire au plan horizontal BSA. Les rayons émis par A rencontreront normalement l'écran *b* qui sera éclairé comme si A était à une dis-

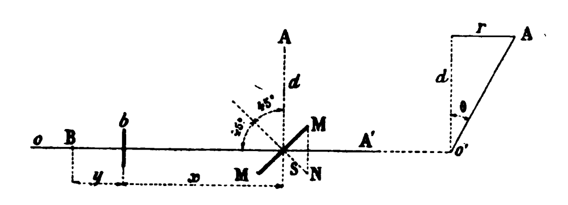


Fig. 190. — Mesure de l'intensité sous différents angles.

tance $x + d$. Élevons le foyer de la hauteur r sur la verticale de A et faisons tourner en même temps le miroir d'un angle θ tel que $\operatorname{tg}\theta = \frac{r}{d}$. Dans cette position, les rayons faisant avec l'horizontale l'angle θ seront perpendiculaires à oo' et, comme ils rencontrent le miroir à 45°, ils seront réfléchis normalement. La distance est alors $\left(x + \frac{d}{\cos\theta}\right)$. On aura ainsi l'intensité suivant les angles θ_1, θ_2, soit au-dessus, soit au-dessous du plan horizontal. Pour des inclinaisons voisines de 90°, il vaut mieux placer le foyer en A', c'est-à-dire dans le plan vertical de oo'. Avant toute opération, on commence par déterminer le coefficient d'absorption du miroir en comparant deux foyers d'intensités connues avec et sans le miroir.

Dans le cas de lampes à incandescence, il est très facile d'orienter la lampe comme on le désire suivant les différentes directions.

En Allemagne, on emploie couramment le photomètre Elster, également très commode.

169. Éclat. — Nous avons supposé, dans les calculs précédents, que la source lumineuse était réduite à un point, ce qui est loin d'être exact. La quantité de lumière émise par

deux foyers pouvant être la même, bien qu'ils soient très différents, on est conduit à tenir compte de leur surface. On appelle *éclat* l'intensité lumineuse rapportée à l'unité de surface d'émission normale aux rayons ; l'unité est le *pyr par centimètre carré*. Pour comparer les éclats intrinsèques de deux sources lumineuses, il suffira donc de connaître leur intensité et de mesurer leurs surfaces respectives. L'éclat dépend surtout de la température du corps incandescent. Le tableau suivant donne la valeur de l'éclat de différentes lumières.

SOURCES LUMINEUSES	ÉCLAT EN BOUGIES DÉCIMALES
Bec bougie	0,06
— Argand	0.30
— Siemens	0.60
— Auer	6,66
Lampes à incandescence électrique	30,00
Lampes à arc	480,00
Lumière solaire	24.090,00

L'éclat d'une source éclairante a une importance capitale. En effet, la sensation lumineuse étant due à la destruction d'une substance de l'œil, le pourpre rétinien, si cette destruction est trop rapide, il y a éblouissement et, par conséquent, confusion dans la netteté de la vision. Il suffit d'être exposé quelque temps à la lumière solaire ou à celle de l'arc voltaïque pour rester comme aveuglé pendant la durée nécessaire à la reconstitution du pourpre rétinien.

L'effet est le même si la source lumineuse se trouve dans le champ visuel ; en effet, outre la perception directe des objets fixés par l'œil, la rétine reçoit celle des corps voisins, et, si leur image est plus brillante que celle de l'objet considéré, il y aura confusion. La vision sera d'autant moins nette que l'éclat sera plus considérable.

Il en résulte que, dans tout l'éclairage, les foyers lumineux d'un trop vif éclat ne devront pas être placés dans le champ visuel. Dans ce cas, il est même préférable d'atténuer en

quelque sorte l'intensité de ces lumières au moyen de globes diaphanes qui en absorbent une quantité pouvant atteindre 30 à 40 0/0; mais la netteté de la vision en est augmentée d'autant. C'est pour la même raison qu'en remplaçant les flammes à grande surface, comme celles des lampes à gaz ou à huile, par des lampes à incandescence d'un éclat supérieur, on est obligé d'accroître de 10 0/0 la puissance lumineuse totale de ces foyers. Cette augmentation permet de distinguer les objets. C'est également pour cette raison que les petits foyers sont préférables.

170. Couleur. — *Propriétés.* — La question de la couleur des flammes dans l'éclairage a pris de l'importance depuis l'apparition de l'arc voltaïque et des becs à incandescence par le gaz. La couleur d'une source lumineuse dépend surtout de la nature du corps qui lui donne naissance. C'est ainsi qu'en projetant dans la flamme incolore d'un brûleur Bunsen des sels de thallium, de lithium ou d'indium, on obtient une belle couleur verte, rouge ou bleue, suivant le cas.

Mais, le plus souvent, la teinte de la lumière est un mélange assez complexe dont l'œil ne perçoit que la résultante. Il faut recourir à des moyens spéciaux, pour en obtenir la décomposition ou spectre lumineux. Dans une couleur il y a deux quantités : le *ton* ou *nuance* et sa *saturation*. Le ton correspond à la position que l'on peut donner à la couleur dans le spectre ; quant à la saturation, on peut la définir comme le degré de pureté de cette couleur. Plus une couleur est mélangée de blanc, moins elle est saturée.

Toute lumière colorée produit sur la rétine trois sensations distinctes et successives, suivant son intensité. L'œil aperçoit d'abord une lumière, puis il en distingue la couleur et, enfin, il peut reconnaître les objets qu'elle éclaire. Les intensités correspondant à ces trois sensations ne sont pas les mêmes pour chaque couleur. Il en résulte que deux lumières ne donnent le même éclairement qu'avec une intensité réelle bien différente.

M. Augustin Charpentier a déterminé, à ce sujet, le rapport qui existe pour certaines radiations :

1° Entre la quantité de lumière correspondant à la sensation chromatique et celle de la sensation incolore prise comme unité, ce rapport est de :

4,0	pour............	le rouge
5,5	....	l'orangé
9,6	....	le jaune
196,0	....	le vert moyen
625,0	....	le bleu franc

2° Entre la quantité de lumière fournie pour la vision nette et celle nécessaire à la sensation chromatique, ce rapport est sensiblement constant et égal à 1,85. En multipliant par 1,85 les chiffres du tableau précédent, on aura la quantité de lumière correspondant à la vision distincte, la quantité nécessaire pour produire la sensation incolore étant prise comme unité. Il faut donc vingt fois plus de lumière verte et soixante fois plus de lumière bleue pour obtenir la même netteté de vision qu'avec le jaune. D'autres chiffres ont été donnés; si la visibilité d'une flamme blanche est représentée par 1, on aura pour les autres :

Rouge...............	1/3
Vert	1/5
Bleu	1/7

On dit que deux couleurs sont *complémentaires*, lorsque le mélange donne du blanc. C'est ainsi que le violet et le jaune, le bleu et l'orangé, le vert et le pourpre donnent la couleur blanche. Si l'une des couleurs domine, la nuance se rapproche de cette couleur. On voit, dès lors, qu'il est facile de corriger la teinte de certains brûleurs par l'emploi de globes colorés.

Comparaison des lumières de couleurs différentes. — Il est à peu près impossible de mesurer l'intensité des foyers de teinte différente sans recourir à un moyen spécial indiqué par M. Crova et basé sur les observations suivantes :

Les spectres étalés de deux lumières donnant, sur l'écran d'un photomètre, le même éclairement, sont loin d'être comparables en toutes leurs parties. Vers l'extrémité violette, le rapport sera plus grand ou plus petit que l'unité ; vers le rouge, il se rapprochera de 1 pour changer ensuite de sens

en se rapprochant de l'extrémité jaune. Il suffira donc de comparer ces lumières dans le voisinage des radiations dont le rapport est égal à 1, en ayant soin d'absorber toutes les autres. Dans le cas des foyers électriques et de la carcel, cette radiation est voisine de la raie D ; il suffira donc d'interposer entre l'œil et l'écran photométrique une substance qui ne laisse passer que les rayons entre les raies C et E. La substance proposée est une solution ayant la composition suivante :

Perchlorure de fer anhydre sublimé.....	22gr,321
Chlorure de nickel cristallin	27 ,191
Eau distillée............................	100cm3,000

On sature cette solution de chlore et on en remplit une cuve transparente à faces parallèles. Lorsque la couche a 7 millimètres d'épaisseur, elle ne laisse passer que les radiations comprises entre les deux raies C et E.

M. Perry avait proposé de faire les mesures, d'abord avec deux verres rouges, puis avec deux verres verts, et de prendre la moyenne ; mais, les rapports de ces deux couleurs étant très différents, la moyenne n'est pas exacte. Le système précédent est préférable, à la condition de connaître exactement le spectre de chaque lumière.

§ 2. — Utilisation de la lumière

171. Éclairement. — Jusqu'à présent nous ne nous sommes occupés que du foyer lumineux lui-même ; mais ce qu'il y a d'intéressant, c'est de connaître la quantité de lumière fournie sur le sol, c'est-à-dire l'*éclairement*. L'éclairement produit par la source lumineuse sur une surface dépend de son orientation, il atteint son maximum sur un plan perpendiculaire à la direction des rayons lumineux.

L'unité d'éclairement est la *bougie-mètre*, ou *lux :* c'est l'éclairement produit par une bougie décimale, ou pyr, à 1 mètre.

Considérons (*fig.* 191) une source lumineuse placée à une hauteur h et un point B, à une distance d du pied de la verticale ; la droite OB fait un angle α avec la verticale. Si du point O comme centre avec OB comme rayon on décrit une sphère,

l'éclairement en B est facile à obtenir, d'après la loi du carré des distances, et en remarquant que l'éclairement sur l'horizontale est la projection de l'éclairement normal E_n sur

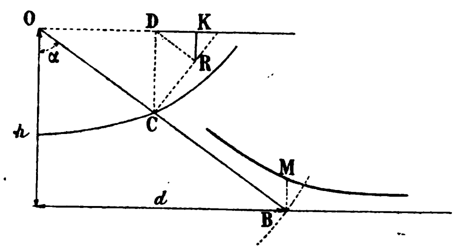


Fig. 191. — Courbe des éclairements.

la partie correspondante de la sphère. Soit $I\alpha$ l'intensité suivant l'angle α, on aura :

$$E_B = E_n \cos\alpha = \frac{I\alpha \cos\alpha}{OB^2} = \frac{I\alpha \cos^3\alpha}{h^2}.$$

h^2 étant une constante, pour avoir l'éclairement des différents points du plan, il suffira de calculer le facteur $I\alpha \cos^3\alpha$. $I\alpha$ est le résultat d'essais photométriques, $\cos^3\alpha$ est calculé à l'avance pour certaines valeurs de α, qu'on rencontre le plus souvent.

α	$\cos^3\alpha$	α	$\cos^3\alpha$
15°,0	0,9022	71°,10	0,0341
22 ,3	0,7880	71 ,34	0,0315
30 ,0	0,6495	73 ,17	0,0238
37 ,3	0,5000	75 ,00	0,0173
45 ,0	0,3535	75 ,58	0,0141
52 ,3	0,2255	78 ,42	0,0075
60 ,0	0,1250	81 ,28	0,0033
63 ,3	0,0887	84 ,18	0,0010
68 ,1	0,0413	85 ,42	0,0004

Au lieu du calcul on peut employer une méthode graphique,

d'autant plus commode que, le plus souvent, on possède la courbe des intensités photométriques. En C (*fig.* 191), point de rencontre du rayon OB avec la courbe photométrique, on élève une perpendiculaire CR; puis on mène la verticale de C jusqu'en D, par D une parallèle à OC jusqu'en R, et finalement la verticale KR. Cette ligne KR est égale à OC $\cos^3 \alpha$, c'est-à-dire à $I\alpha \cos^3 \alpha$, comme il est facile de le démontrer. Pour avoir la valeur de E_B, il suffira de diviser OC $\cos^3 \alpha$ par h^2. En prenant h^2 comme échelle de l'intensité lumineuse, la ligne KR mesurera l'éclairement. Pour avoir un point M de la courbe, au point B, il suffira d'élever MB = KR. En faisant la construction pour une série de points C, on aura la courbe des éclairements correspondant à une hauteur h. Inversement, connaissant cette courbe, pour avoir l'éclairement en un point M à une distance d du foyer, il suffit de mesurer cette longueur d sur la ligne des abscisses et d'élever l'ordonnée correspondante.

Au lieu de projeter la lumière sur un plan horizontal, on pourrait mesurer l'éclairement sur un plan vertical. On aura :

$$E_B = E_n \sin \alpha = \frac{I\alpha \sin \alpha \cos^2 \alpha}{h^2},$$

et le problème est le même que précédemment.

172. Influence de la hauteur du foyer. — La hauteur du foyer a une grande importance dans la distribution de la lumière sur le sol; pour le démontrer, remplaçons, dans la formule générale de l'éclairement, h en fonction de l'abscisse d du point B; on a :

$$d = h \operatorname{tang} \alpha,$$

d'où :

$$E = \frac{I\alpha \cos \alpha \sin^2 \alpha}{d^2}.$$

Si on se donne d, E sera nul pour $\alpha = 0$ et pour $\alpha = \frac{\pi}{2}$, c'est-à-dire lorsque le foyer est à une distance infinie ou sur le plan horizontal; la valeur de E passe donc par un

maximum qu'il est facile de trouver, en annulant la dérivée $\frac{dE}{d\alpha}$, c'est-à-dire pour :

$$2 \cos^2 \alpha \sin \alpha - \sin^3 \alpha = 0$$
$$2(1 - \sin^2 \alpha) = \sin^2 \alpha ;$$

on trouve alors que $\sin^2 \alpha = \frac{2}{3}$; l'angle α correspond à 54°,44′. On en déduit :

$$d = h\sqrt{2} \qquad \text{ou} \qquad h = 0,707d.$$

Ce chiffre, trop élevé, ne saurait être admis dans la pratique.

Pour une même inclinaison, les éclairements étant en raison inverse du carré de la hauteur, il est facile, connaissant la hauteur correspondant à un éclairement maximum E, de déterminer la nouvelle hauteur pour une seconde valeur de cet éclairement maximum E′ ; on a :

$$h' = h\sqrt{\frac{E}{E'}}.$$

173. Mesure des éclairements. — La mesure directe de l'éclairement se fait au moyen des photomètres spéciaux de Weber et de Mascart.

Le photomètre de *Weber* comporte un tube A horizontal de 30 centimètres de long et 8 de diamètre, fixé sur un pied F, et un second tube B mobile dans un plan perpendiculaire à l'axe du précédent. Les deux tubes sont noircis intérieurement. Au moyen d'un secteur gradué, on indique l'inclinaison de ce tube sur l'horizontale ; une vis de pression permet de le fixer dans cette position (*fig.* 192).

Le principe consiste à éclairer la moitié d'un écran K, monté dans le tube B, par une lumière type *c*, et l'autre moitié, par les rayons issus de l'éclairement à mesurer. Un diffuseur opale *f*, pouvant se déplacer le long d'une échelle graduée, sert à régler l'éclairement de *c*. La lumière diffuse de *f* est réfléchie au moyen d'un prisme à réflexion totale et tombe

sur l'œil, quelle que soit l'inclinaison de B. Celle de l'éclairement à mesurer traverse le tube B, dans lequel on peut superposer plusieurs lames de verre dépoli ou coloré, dont on connaît le coefficient d'absorption, suivant qu'on veut obtenir un éclairement plus ou moins intense.

Pour faire un essai, après avoir dirigé le tube B sur une

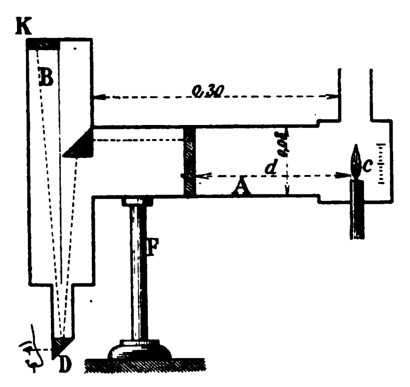


Fig. 192. — Photomètre de Weber.

surface éclairée, on cherche la position à donner à l'écran *f* pour avoir l'égalité d'éclairement en D. On opère de la même façon pour une seconde surface. Le rapport d'éclairement des deux surfaces est égal au rapport des carrés des distances de *c* à l'écran *f*. Si l'on a eu soin de prendre l'éclairement d'une des surfaces comme unité, on pourra en déduire l'autre.

Avec cet appareil il y a deux visées à faire ; avec le photomètre de M. *Mascart* (*fig.* 193) on n'en fait qu'une, à la condition de connaître l'intensité du foyer qui produit la clarté type. Les deux portions d'un écran D, placé comme précédemment dans un tube, sont éclairées, l'une par la lumière étalon, l'autre par l'éclairement à mesurer. La lumière étalon, à huile de colza E, illumine un verre dépoli dont l'image, par une lentille H, vient se former après deux réflexions à 45° sur la moitié de D. La lumière générale traverse un écran A, se

réfléchit en B, et son image, à travers une lentille C, tombe sur la seconde moitié de D. L'écran A, grâce à la mobilité du tube, peut se déplacer dans tous les azimuts.

Les deux lentilles H et C, servant à la production des images, sont munies d'une ouverture rectangulaire que l'on peut régler à volonté au moyen de volets. C'est par la

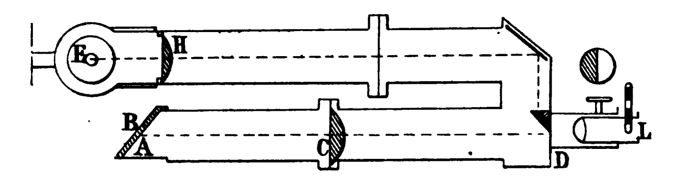


Fig. 193. — Photomètre de Mascart.

mesure des dimensions de ces ouvertures que se détermine l'éclairement d'une surface; il suffit d'en prendre le rapport. On peut graduer, au préalable, les volets, en prenant comme unité l'éclairement obtenu en A par une carcel placée à 1 mètre et qui vaut, par conséquent, 10 bougies-mètres ou 10 lux. L'écran D peut s'observer au moyen d'une loupe L, devant laquelle on peut disposer des verres de différentes couleurs.

174. Éclairement minimum. — Connaissant la courbe des éclairements de plusieurs foyers de hauteur h, il est facile de déterminer l'éclairement résultant produit sur un point par tous ces foyers, en admettant que les éclairements s'ajoutent arithmétiquement, ce qui n'est pas rigoureusement exact (Augustin Charpentier). Il suffit pour cela de mesurer les distances $n_1, n_2, ..., n_n$ du point en question au pied des différents candélabres; au moyen des courbes, on détermine les éclairements $e_1, e_2, ..., e_n$ correspondants. L'éclairement cherché est la somme des éclairements partiels.

Une méthode graphique fort simple consiste à figurer sur une feuille de papier les circonférences successives correspondant à des intensités décroissantes, de bougie en bougie

par exemple. Si A, B, C (*fig.* 194) sont les foyers considérés, M le point en question, il suffira de placer le centre des circonférences concentriques au point M, les points A, B, C, se trouveront sur des cercles ou entre deux ; par simple interpolation on déterminera l'éclairement correspondant, et on aura approximativement :

Éclairement dû à	A	1^lux^,5
—	B	1 ,0
—	C	0 ,6

L'éclairement total sera de 1,5 + 1,0 + 0,6 = 3^lux^,1.

Lorsqu'il s'agit de l'éclairement horizontal d'une rue ou d'une place, il est intéressant de connaître les points les plus obscurs ; on trace au pied de chaque candélabre les cercles correspondant à des éclairements déterminés. On peut alors, aux divers points de ce plan, par une simple addition, déterminer la valeur de l'éclairement total. Si on réunit tous les points de même valeur, on obtient une série de courbes d'égal éclairement ou isolux ; les points situés sur les courbes extrêmes auront un éclairement minimum.

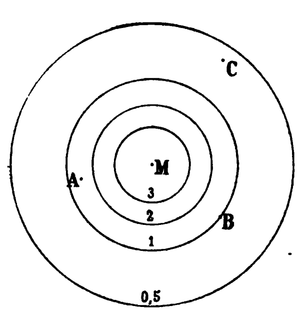


Fig. 194. — Éclairement d'un point par plusieurs foyers.

Quand les foyers sont très nombreux, cette construction devient longue, on la simplifie en ne traçant plus de cercle au-delà de 80 mètres ; l'éclairement à cette distance est, en effet, très faible et détruit par l'absorption atmosphérique.

175. Éclairement moyen. — Connaissant l'éclairement en divers points d'un plan, il est facile d'en déduire l'éclairement moyen, qui permet de comparer deux éclairages entre eux. Soit s_1, s_2, s_3, ..., s_n, la série des surfaces limitées par des courbes d'intensité décroissante. Si e est la différence d'éclairement entre deux courbes consécutives ; e_0, l'éclairement mi-

nimum ; e, la différence entre l'éclairement maximum et celui de la courbe de plus grand éclairement ; e'', la différence entre la courbe de plus faible éclairement et l'éclairement minimum e_0, on aura pour l'éclairement moyen E_m correspondant à une surface S :

$$SE_m = \frac{e's_1}{2} + e\left(\frac{s_1+s_2}{2} + \frac{s_2+s_3}{2} + \frac{s_{n-1}+s_n}{2}\right) + e'\frac{s_n+S}{2} + e_0 S.$$

L'éclairage est d'autant meilleur que le rapport $\frac{e_0}{Em}$ se rapproche de l'unité.

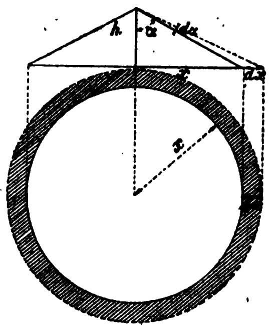


Fig. 195. — Éclairement moyen.

Au lieu de cette formule, on pourrait prendre celle de Simpson ; tout le problème revient à calculer l'ordonnée moyenne de la courbe d'éclairement.

On peut déterminer d'une autre façon cet éclairement moyen. Soit Is l'intensité moyenne sphérique ; considérons une couronne de rayon x et de largeur dx (*fig.* 195), la quantité de lumière reçue dq sera égale à la surface de la couronne multipliée par l'éclairement à la distance x ; on aura :

$$dq = \frac{\text{Is} \cos^3\alpha \; 2\pi x dx}{h^2},$$

et comme on a :

$$\frac{x}{h} = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha},$$

il en résulte :

$$dx = \frac{h d\alpha}{\cos^2\alpha},$$

ce qui donne :

$$dq = 2\pi \; \text{Is} \sin\alpha \, d\alpha ;$$

en intégrant de o à α, on aura la quantité de lumière reçue par le cercle de rayon x, et l'éclairement moyen sera égal

à cette quantité divisée par la surface $2\pi x^2$; on aura :

$$E_m = \frac{2Is}{x^2}\int_0^{\alpha} \sin\alpha\, d\alpha = \frac{2Is}{x^2}(1 - \cos\alpha).$$

Pour résoudre le problème inverse, c'est-à-dire déterminer la valeur du rayon x, de manière à avoir un éclairement moyen déterminé E_m, comme on se donne généralement la hauteur du foyer h, il vaut mieux procéder par calculs successifs, c'est-à-dire déterminer la valeur de E_m pour des valeurs croissantes de α et de x, et dans celles qu'on aura trouvées choisir celle qui s'en rapproche le plus.

Il y a un cas particulier où le calcul est fort simple, c'est celui pour lequel h correspond à l'éclairement maximum ; on sait qu'on a alors $\cos\alpha = \sqrt{\frac{1}{3}}$; on aura pour x^2 :

$$x^2 = \frac{2Is}{Em}\left(1 - \sqrt{\frac{1}{3}}\right) = \frac{0{,}845Is}{Em}.$$

176. Flux de lumière utile. — M. Blondel a imaginé une méthode plus précise que la précédente, tout en n'étant guère plus longue. Au lieu de prendre l'intensité sphérique moyenne, on détermine le flux lumineux sous différents angles, et on évalue la quantité de lumière reçue par les zones correspondant à ces différents flux; il suffira ensuite de les totaliser pour avoir le flux de lumière utile.

Supposons le foyer L_1, placé à une hauteur h, dans une rue, et donnons-nous la courbe photométrique, la courbe des flux et celle de l'éclairement correspondant à cette hauteur. Au moyen de la courbe des flux on déterminera d'abord le flux correspondant à l'angle solide du cône lumineux de hauteur h, et ayant comme base la circonférence tangente à la ligne des maisons décrite de L_1, comme centre (*fig.* 196).

Le demi-angle au sommet a comme valeur $\tan g\,\alpha = \frac{R}{h}$. En se reportant à la courbe des flux, il est facile d'évaluer en lumens la valeur du flux sur la surface correspondant à cet angle α. La lumière émise par le foyer étant supposée

symétrique par rapport au plan vertical OL_1, nous chercherons la lumière envoyée d'un côté de ce plan, sauf à la répartir sur une surface en rapport, ce qui facilite le calcul dans le cas de plusieurs foyers. La valeur donnée par la

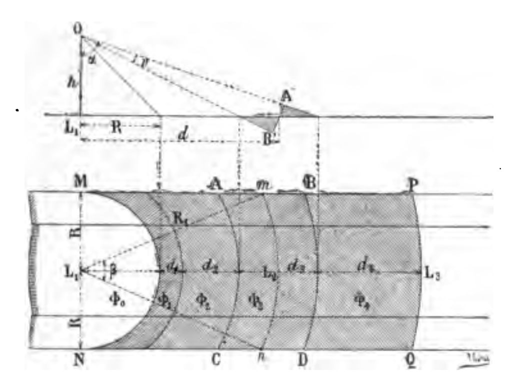


FIG. 196. — Flux de lumière utile.

courbe de flux devra alors être divisée par 2. Soit Φ_0 le flux correspondant à cette surface, dite zone intérieure. Évaluons maintenant la lumière émise entre le foyer L_1 et le foyer L_3 ; outre la zone intérieure on pourra obtenir une série de zones 1, 2, 3, 4 correspondant à des flux Φ_1, Φ_2, ..., Φ_4 ; il est inutile de pousser très loin cette division ; de plus, la limite d'éclairement, c'est-à-dire l'intervalle L_1, L_2 ne doit pas excéder 80 mètres, car, au-delà, même avec des foyers très intenses, la lumière se trouve absorbée presque totalement.

La valeur d'un des flux Φ correspondant à une zone ABCD, est facile à calculer ; elle est égale au produit de la surface ABCD par l'éclairement moyen correspondant à cette surface. En effet la quantité de lumière reçue par ABCD est sensiblement la même que celle de la zone A'B' correspondant à l'angle v. L'éclairement moyen se mesure sur la courbe de l'éclairement à une distance d correspondant à la ligne moyenne mn de A et B. De même, pour la valeur de la surface ABCD, il n'y aura qu'à multiplier la longueur mn

de l'arc β par l'intervalle d_3 des deux cercles. Le flux total est égal à la somme des flux partiels $\Phi_0 + \Phi_1 + ...$

On aura alors pour l'éclairement moyen exprimé en lux :

$$Em = \frac{\Phi_0 + \Phi_1 + \Phi_2 + ... \Phi_4}{\text{Surf. MNPQ}}.$$

On peut simplifier le calcul en se contentant de déterminer la valeur de Φ_0 et d'une zone ou deux ; l'approximation est suffisante.

Si on avait voulu calculer le flux utile jusqu'à une hauteur h', on aurait fixé l'éclairement non plus pour une hauteur h, mais pour $h - h'$. Le flux trouvé Φ' est plus grand que Φ, et l'éclairement moyen est égal, si a est la longueur de la surface MNPQ, b sa largeur, à :

$$\frac{\Phi'}{\text{Surf. MNPQ} + 2ah'} = \frac{\Phi'}{ba + 2ah'} = \frac{\Phi'}{(b + 2h')a},$$

ce qui revient à ajouter à la largeur de la rue b deux fois la hauteur h'.

Enfin, dans bien des cas, on peut se contenter de prendre toute la lumière émise au-dessous du plan horizontal du foyer ; la mesure peut en être faite au moyen du flux hémisphérique inférieur, qui est donné par la courbe d'intensité sphérique moyenne.

177. Éclairement uniforme. — Il y aurait intérêt à avoir un foyer donnant un éclairement uniforme sur le sol. L'équation de l'éclairement :

$$E = \frac{I\alpha \cos^3 \alpha}{h^2}$$

deviendrait :

$$I\alpha \cos^3 \alpha = \text{constante}.$$

$I\alpha$ se mesure sur la courbe polaire photométrique, et on a, en désignant par ρ la valeur de $I\alpha$:

$$\rho = \frac{k}{\cos^3 \alpha}.$$

Il est facile de construire géométriquement cette courbe (*fig.* 197). Soit A le foyer; prenons une longueur AB $= k$ et menons l'horizontale, elle rencontre le rayon vecteur AC en D; menons DF perpendiculaire à AC, et FC perpendiculaire à AF; on a alors :

$$AC = \frac{AF}{\cos\alpha} = \frac{AD}{\cos^2\alpha} = \frac{AB}{\cos^3\alpha} = \frac{k}{\cos^3\alpha};$$

C est donc un point de la courbe. La tangente en ce point est simple à déterminer.

Sa valeur égale $\frac{\rho}{d\rho'}$; $d\rho'$ étant la dérivée par rapport à α, on a :

$$d\rho' = \frac{d\rho}{d\alpha} = \frac{k\cos^2\alpha\sin\alpha}{\cos^6\alpha}$$

d'où :

$$\frac{\rho}{d\rho'} = \frac{\cos\alpha}{3\sin\alpha}.$$

Prenons sur AB un point M tel que BM $= \frac{k}{3}$. Menons l'horizontale MP, puis la verticale PT jusqu'à la ligne FD; en joignant TC, on aura la tangente; en effet on a :

Fig. 197. — Courbe d'éclairement uniforme.

$$\text{tang TCD} = \frac{TD}{DC} = \frac{FD}{3DC} = \frac{CF\cos\alpha}{3FC\sin\alpha} = \frac{\cos\alpha}{3\sin\alpha}.$$

La courbe est ainsi déterminée : pour $\alpha = 0$, on a $\rho = K$; et, pour $\alpha = 90°$, on a $\rho = \infty$; enfin elle présente un point d'inflexion pour $\alpha = 30°$. Pour réaliser une pareille courbe photométrique, il faudrait un foyer lumineux émettant sur l'horizontale des rayons infinis, ce qui est inadmissible; toutefois on peut chercher à s'en rapprocher.

On pourrait de même chercher à avoir sur le plan vertical

l'éclairement uniforme; en se reportant à la valeur de ce éclairement, on a :

$$E_v = \frac{I\alpha \sin \alpha \cos^2 \alpha}{h^2},$$

l'équation de la courbe photométrique donnant l'éclairement vertical constant serait $K = I\alpha \cos^2 \alpha \sin \alpha$.

178. Répartition et hauteur des foyers. — Il y a trois dispositions principales dépendant de l'importance des espaces à éclairer (*fig.* 198) :

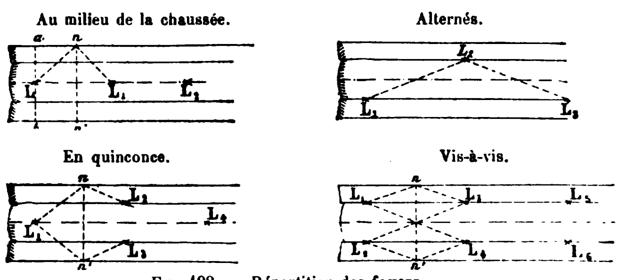


Fig. 198. — Répartition des foyers.

1° Pour des rues d'une largeur suffisante on peut disposer les foyers sur le milieu de la chaussée, surtout lorsqu'ils ont une intensité considérable, comme les foyers électriques : c'est l'installation la plus rationnelle. On peut alors les distancer d'une longueur au moins égale à la largeur de la rue. Pour les répartir, on commence par choisir l'intensité avec une hauteur en rapport, de manière que l'éclairement en *a* ait sa valeur minima; puis on les espace de façon qu'en *nn'* on ait au moins le même éclairement. En pratique, on ne descend pas au-dessous de 25 mètres, et la dépense est encore fort onéreuse. Cette disposition permet d'employer pour le foyer la hauteur maxima ; le flux se trouve bien utilisé sur le sol et ne se perd pas sur la façade des maisons ;

2° On place les foyers en zigzags sur les trottoirs. L'éclairement minimum peut se trouver sur la ligne quijoint deux

foyers de chaque côté de la rue L_1L_2, ou bien sur la ligne L_1L_3, joignant deux foyers du même trottoir. L'éclairement est moins bien utilisé que précédemment; une partie se perd sur les maisons voisines, de là l'obligation de ne pas avoir des candélabres trop élevés et d'en mettre un plus grand nombre. Cette disposition est surtout employée avec les brûleurs à gaz dont la hauteur n'est pas très considérable. On fixe la distance qui sépare deux foyers par l'éclairement minimum à réaliser. L'éclairage obtenu n'est pas très uniforme, mais il est facile d'y remédier, surtout lorsqu'il s'agit d'une rue d'une certaine importance ;

3° En plaçant les foyers vis-à-vis, on a le minimum d'éclairement en *nn'*. Cette installation est très avantageuse avec les foyers de sources lumineuses de faible intensité, à la condition, bien entendu, d'en mettre en nombre suffisant ; c'est le cas des petits brûleurs à gaz ;

4° On peut réaliser un éclairage très intense et très uniforme en adoptant la disposition en quinconce, c'est-à-dire qu'on place des foyers à la fois sur la chaussée et sur le trottoir. Cette méthode convient particulièrement pour l'éclairage des places, des jardins où il est toujours facile de multiplier les candélabres sans gêner la circulation ; mais elle n'est employée qu'exceptionnellement pour l'éclairage des rues.

Quant à la hauteur des foyers, elle est assez variable. D'une manière générale, plus ils sont élevés, plus l'éclairage obtenu est uniforme; mais il ne faut pas chercher à exagérer ce résultat. Les candélabres à gaz mesurent ordinairement 3 mètres à 3^m,50 de haut.

Les foyers électriques, ayant une intensité plus grande, sont placés à des hauteurs plus considérables. La hauteur varie de 4^m,50 à 7 mètres. On ne doit pas dépasser, dans les cas ordinaires, 10 à 12 mètres, à moins d'avoir des foyers spéciaux constituant alors de véritables phares.

§ 3. — Quantité de lumière nécessaire

179. Éclairage intérieur au gaz et à l'incandescence électrique. — *Nature des foyers.* — Les quantités de lumière nécessaires à l'éclairage intérieur ou extérieur ne sont pas les mêmes. Il faut 15 à 20 lux pour lire commodément (Cohn). La lumière du jour étant de 50 lux, on voit toute la marge qu'on a pour réaliser un éclairage juste suffisant, ou un éclairage se rapprochant de cette dernière. On comprend aisément qu'il soit très facile d'avoir la lumière qu'on désire, à la condition de multiplier le nombre des brûleurs. Quelques exemples indiqueront quels sont les chiffres que l'on peut chercher à obtenir dans l'éclairage de locaux très différents.

Dans un bureau de l'Hôtel des Postes, à Paris, l'éclairement a été trouvé de 23 lux sous l'horizontale, et $3^{lux},5$ dans les coins les plus obscurs (De Nerville); il était considéré comme très suffisant pour les besoins du service.

A l'Odéon de Munich, l'éclairement dans la salle est de 19 lux horizontalement, et de $7^{lux},6$ aux points sombres ; dans la galerie il est un peu plus faible, mais plus uniforme : il varie entre 14 et 18 lux; on a encore 8 lux au point le plus obscur. L'éclairage de ce théâtre est obtenu au moyen de huit sun burners ou couronnes composées chacune de cent quinze petites flammes réparties sur un cercle de $0^{m},60$ de diamètre et groupées par cinq becs piqués sur de petits culots distants entre eux de $0^{m},05$. Elles descendent à $1^{m},50$ au-dessous du plafond, et chaque appareil porte un réflecteur et une cheminée servant à l'évacuation des gaz de la salle. Cette dernière est rectangulaire et mesure $33^{m},60$ de long sur 22 de large. L'aménagement de l'orchestre forme un demi-cercle de 18 mètres de diamètre, la hauteur du parterre aux galeries est de 8 mètres, et celle de la salle sous le plafond de 15 mètres. L'intensité lumineuse des sun burners serait de 52 bougies.

Le théâtre Beaumarchais, à Paris, était éclairé au gaz dans des conditions très avantageuses. Il y avait un seul lustre sous le plafond comportant (*fig.* 199) :

		Litres.
Au centre sur une couronne.	20 lampes à récupération de	140
A la partie inférieure......	5 —	160
A la partie supérieure	50 becs papillons de........	125

La consommation horaire était de 10 mètres cubes pour 1.900 bougies ou pyrs, et le volume de la salle de 1.800 mètres cubes. Des mesures d'éclairement n'ont pas été faites, mais il était possible de lire dans tous les coins de la salle.

Lorsqu'il s'agit de vastes locaux et qu'on veut obtenir un

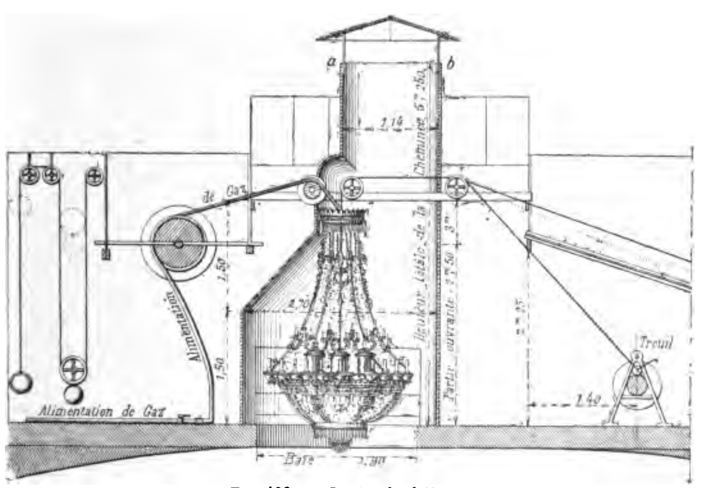
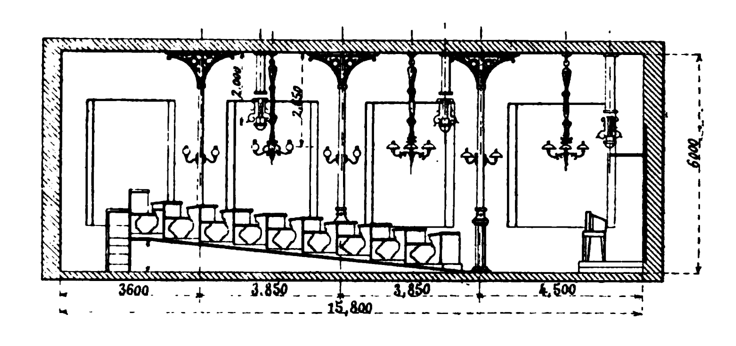


Fig. 199. — Lustre de théâtre.

éclairage décoratif, on peut, comme dans les exemples précédents, recourir à des brûleurs à flamme libre sans globe. Les oscillations des flammes, n'étant pas synchrones, sont sans influence sur la visibilité. Il faut seulement avoir bien soin de placer les foyers en dehors du champ visuel. Dans ce cas on cherche surtout à avoir un éclairage uniforme.

Quand il s'agit de locaux plus restreints, comme magasins, salles de vente, salles d'étude, la lumière doit être répartie



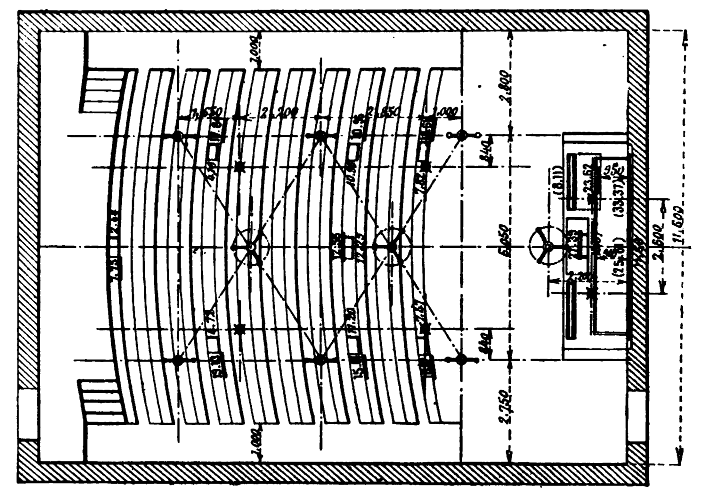


Fig. 200. — Éclairage d'une salle d'étude.

plus spécialement en certains points. On peut alors employer très avantageusement des brûleurs à flamme en dessous. Dans une salle d'audition de Carlsruhe, dont les dimensions sont indiquées sur la figure 200, l'éclairage est obtenu au

moyen de six brûleurs Siemens à flamme en dessous : quatre dans la salle, et deux munis de réflecteurs pour l'éclairage des tableaux. La consommation horaire est de 2^{m3},233, et l'éclairement mesuré sur les différentes tables est de 15 lux en moyenne. Il est indiqué, en chiffres gras, sur la figure, aux endroits où ont été faits les essais. L'emploi des brûleurs à flamme en dessous a donné sur les brûleurs à cheminée, au nombre de 21, existant antérieurement, une économie sensible, tout en produisant un meilleur éclairage. La consommation était de 5^{m3},318, et l'éclairement était insuffisant en différents points, comme l'indiquent les chiffres ordinaires de la figure.

Un autre exemple, celui de la salle de vente de la Compagnie parisienne, rue Condorcet, à Paris, montrera qu'on peut, en certains points, obtenir un éclairement très vif avec une consommation relativement réduite. L'éclairage était obtenu au moyen de dix-sept lampes à récupération (*fig.* 201), réparties comme il suit :

	Litres.	
6 lampes sur rampe (*abcdef*) consommant......	150	par lampe
4 lampes isolées à l'intérieur (*ghij*) consommant	200	—
1 — — (*m*) —	400	—
1 lampe à l'intérieur (*k*) consommant..........	560	—
1 lustre à 5 lampes (*l*) —	120	—

soit, au total, une dépense horaire de 3^{m3},26 de gaz; les lampes étaient du système Wenham et Cromartie, donnant une intensité lumineuse de 815 bougies, soit 4 litres par bougie, ou 3^{boug},33 par mètre cube de local (244 mètres cubes) ou encore 11^{boug},5 par mètre carré (70^{m2},50). Les lampes étaient placées à une hauteur de 2^{m},78 au-dessus du sol, la hauteur totale du plafond étant de 3^{m},50.

Les mesures de l'éclairement ont été faites au moyen du photomètre de M. Mascart en quatre points différents I, II, III, IV, indiqués sur la figure 201. On a trouvé comme :

Éclairement maximum	horizontal	100 lux	Éclairement minimum	horizontal	19^{lux},1
	vertical..	46 —		vertical..	3 ,3

chiffres considérables qu'on atteint souvent dans l'éclairage d'étalages de magasins.

Lorsqu'il s'agit de locaux encore plus restreints, comme celui d'une salle à manger, on peut arriver à reporter toute la lumière en certains points, laissant les autres dans une obscurité relative.

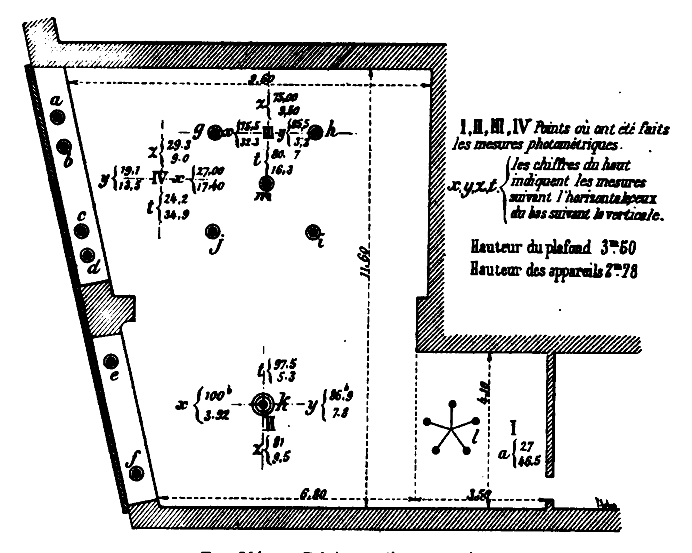


FIG. 201. — Eclairage d'un magasin.

Du reste, il est facile de calculer la valeur d'éclairement produit sur une table par une lampe de puissance connue. Donnons-nous la courbe photométrique du foyer, les coordonnées x et y du point éclairé, éloigné d'une distance r du foyer. Si α est l'inclinaison, on aura pour l'éclairement :

$$E\alpha = \frac{I_\alpha \sin \alpha}{r^2} = \frac{I_\alpha \times y}{(x^2 + y^2)\sqrt{x^2 + y^2}}.$$

$I\alpha$ a, d'après les mesures photométriques, les valeurs suivantes pour des inclinaisons variant de 0° à 90° :

$\alpha = 30^\circ$	50°	20°	90°
$I\alpha = 17^{boug},4$	$19^{boug},5$	$20^{boug},3$	$19^{boug},6$

On pourrait construire avec la courbe photométrique la courbe d'éclairement pour la hauteur y, mais on peut faire le calcul directement. Exemple : pour $y = 0,50$ et $x = 0,67$, on aura $\alpha = 50^\circ$, $I\alpha = 19^{boug},5$; en supposant la lumière reçue perpendiculairement sur l'objet éclairé, il vient :

$$E\alpha = \frac{I\alpha}{r^2} = 19^{lux},9.$$

Si l'objet était placé verticalement, sin α deviendrait cos α ; on trouverait alors $E\alpha = 11^{lux},5$.

On peut, avec ces données, résoudre le problème inverse, c'est-à-dire calculer la valeur que devra avoir l'intensité lumineuse, et, par suite, le débit de la lampe, pour produire un éclairement donné. Supposons l'objet placé à une distance $x = 1^m,50$ à une hauteur $y = 1$ mètre, et l'éclairement $E\alpha = 15$ lux ; on aura :

$$E\alpha = \frac{I\alpha \times y}{(x^2 + y^2)\sqrt{x^2 + y^2}},$$

d'où l'on tire, dans le cas particulier,

$$I\alpha = 15 \times 3,25 \sqrt{3,25} = 88 \text{ bougies}$$

et

$$\sin \alpha = \frac{Er^2}{I\alpha} = 0,554, \qquad \alpha = 35^\circ.$$

Si une lampe à récupération donne 17 bougies à 35°, pour 88, il faudra augmenter la consommation dans le rapport $\frac{88}{17}$.

On pourrait résoudre le problème en se servant simplement de la courbe photométrique, en admettant, bien entendu, que les intensités croissent proportionnellement avec les débits, ce qui n'est pas rigoureusement exact.

Dans le calcul de l'éclairement d'une salle il est bon d'observer que les murs et les tentures réfléchissent une

partie de la lumière. Si on représente par L la somme des intensités moyennes sphériques, par φ le coefficient d'absorption des parois, la première réflexion donnera une quantité de lumière égale à $L(1-\varphi)$; la seconde : $L(1-\varphi)^2$; et la n^{me} : $L(1-\varphi)^n$. La quantité de lumière totale réfléchie sera donc égale à la somme des termes de cette progression, c'est-à-dire $\frac{L(1-\varphi)}{\varphi}$. Pour φ voisin de 1, c'est-à-dire avec des tentures sombres, la quantité de lumière diffusée est presque nulle ; pour $\varphi = 0{,}20$, elle équivaut à quatre fois la lumière émise directement.

Nombre et hauteur des foyers. — Le calcul du nombre des foyers nécessaires est difficile, lorsqu'on a affaire à un nombre considérable d'appareils dont les éclairements particuliers s'ajoutent les uns aux autres ; le mieux est de se rapporter à des installations existantes. On a cependant quelques données à ce sujet. Le tableau suivant, applicable à des foyers de 20 bougies, fournit quelques renseignements.

DIMENSIONS DU LOCAL		NOMBRE de FOYERS	HAUTEUR DES FOYERS au-dessus du plancher
Longueur = Largeur	Hauteur		
4m,70	3m,80	2 à 3	2m,00 à 2m,20
5 ,60	4 ,40	5 à 6	2 ,00 à 2 ,40
7 ,50	5 ,30	9 à 12	2 ,50 à 2 ,80
10 ,00	6 ,90	16 à 20	2 ,80 à 3 ,10
12 ,50	9 ,40	25 à 30	3 ,50 à 3 ,80
17 ,70	12 ,50	40 à 45	4 ,00 à 4 ,40
18 ,80	14 ,00	60 à 70	4 ,70 à 5 ,30
22 ,00	15 ,70	100 à 120	5 ,60 à 6 ,30

Si la surface est rectangulaire, il sera bon de la décomposer en carrés et d'appliquer, autant que possible, les chiffres précédents. Dans ce cas la hauteur des foyers doit être de $\frac{2}{5}\left(\frac{a+b}{2}\right)$, les dimensions de la salle étant a et b.

Enfin il sera bon de se rappeler que les foyers d'éclat intense, comme les becs Auer, les lampes à incandescence, doivent être installés en plus grand nombre que les foyers ordinaires.

Éclairage par la lumière diffuse. — L'éclairage des locaux fermés au moyen de foyers disposés spécialement en vue de la réflexion des rayons lumineux par le plafond et les parois de la salle est très recommandable. L'éclairement obtenu est particulièrement régulier et il ne procure aucune sensation physiologique désagréable; l'absence complète d'ombres portées recommande ce système dans les salles d'études.

Des applications intéressantes de ce mode d'éclairage viennent d'être effectuées dans diverses écoles de la ville de Paris.

180. Éclairage extérieur au gaz. — L'emploi du gaz pour l'éclairage extérieur est assez répandu ; mais il faut reconnaître qu'avec les becs papillons à 140 litres l'éclairement obtenu ne s'est jamais élevé à un chiffre considérable. M. Maréchal a fait voir, au moyen des courbes d'égal éclairement, que, dans une rue de 15 mètres de largeur, pour une hauteur de candélabre de 3 mètres et un espacement de foyers de 25 mètres, l'éclairement moyen était de $0^{lux},12$, et l'éclairement minimum tombait de suite à $0^{lux},05$ à 8 mètres du pied du candélabre. L'éclairage n'est pas plus satisfaisant sur une avenue de 40 mètres de largeur, où les candélabres, au lieu d'être placés alternativement sur chaque trottoir, sont disposés vis-à-vis, formant un rectangle de $15^{m},6$ de côté sur 30 de large. L'éclairement moyen est de 0,115, et au point le plus obscur l'éclairement minimum n'est que de $0^{lux},011$.

Les becs à récupération ont donné de meilleurs résultats. Rue du Quatre-Septembre, avec des becs de 750 litres à $4^{m},50$ de hauteur, disposés en quinconce sur les trottoirs, à une distance les uns des autres de 20 mètres, l'éclairement moyen est de $1^{lux},29$, et l'éclairement minimum toujours supérieur à $0^{lux},3$.

Les becs Auer ont permis d'améliorer, sans grands frais, l'éclairage, en les substituant aux anciens papillons. Pour

une rue de 15 mètres, l'éclairement moyen avec le brûleur Auer n° 2 de 115 litres est passé de $0^{lux},12$ à $0^{lux},36$, et l'éclairement minimum de 0,017 à 0,07. Ces brûleurs à incandescence sont très avantageux pour l'éclairage public. Pour un boulevard de $35^m,20$ de large, en employant sur une longueur de 18 mètres, quatre foyers de trois becs n° 2 sur candélabres de $3^m,50$, placés vis-à-vis les uns des autres, l'éclairement minimum aurait une valeur de $0^{lux},7$, et l'éclairement moyen de $1^{lux},70$.

On ne peut guère fixer de limites pour l'éclairement minimum ou moyen à adopter : il faut tenir compte, en effet, de l'importance des villes, des rues ; mais il est nécessaire de recourir à des brûleurs spéciaux Auer ou intensifs pour obtenir une amélioration importante sur les anciens systèmes à papillons ordinaires.

181. Éclairage extérieur par lampes à incandescence. — On n'emploie les lampes à incandescence que dans des cas tout à fait spéciaux, lorsqu'il s'agit de localités de peu d'importance. Les essais faits dans les villes et, en particulier, à Paris, dans la rue des Halles, en 1890, n'ont pas donné de résultats satisfaisants. Les lampes étant alors espacées à des distances considérables, l'éclairement obtenu est insignifiant. Si on multiplie le nombre de ces foyers, l'énergie absorbée devient très importante, il vaut mieux alors recourir aux lampes à arc de faible intensité.

L'éclairage extérieur par l'incandescence électrique convient particulièrement pour les passages couverts, portiques, où la faible hauteur ne permet pas d'employer l'arc. Les lampes sont placées le plus haut possible et en nombre suffisant. On les munit de réflecteurs.

On peut même se servir, dans ce cas, de globes diffuseurs permettant de renvoyer la lumière dans la direction la plus favorable.

182. Éclairage par l'arc voltaïque. — *Éclairage intérieur.* — L'éclairage à l'arc voltaïque ne s'emploie que dans les grands espaces suffisamment élevés pour bien utiliser toute la lumière de l'arc. On peut, dans les locaux importants,

comme théâtres, magasins, allier l'incandescence à l'arc voltaïque; le mélange des deux lumières est assez satisfaisant. On construit des lampes de petite intensité, 4 à 5 ampères, convenant parfaitement pour l'éclairage des étalages, des terrasses, etc. Le nombre des foyers à employer varie suivant les circonstances; avec des lampes de 10 à 12 ampères on compte pour :

Tissage, filatures, imprimeries..........	1 foyer par	100^{m^2}
Ateliers d'ajustage, de montage........	—	500^{m^2}
Halles à marchandises.................	—	1.000^{m^2}

ce qui correspond à un éclairement moyen de 2 lux. S'il s'agissait d'un théâtre, il faudrait obtenir 15 à 20 lux sur la scène.

Il est facile d'obtenir une lumière très intense et diffuse en renversant la lampe et en renvoyant tout le flux lumineux sur le plafond, de manière à avoir dans la salle un éclairage uniforme.

Éclairage extérieur. — L'arc voltaïque convient plus particulièrement pour l'éclairage des grands espaces. En employant des arcs nus, on recueille le maximum possible de lumière, mais les ombres portées sont trop crues, aussi est-on obligé de recourir à l'emploi de globes diffusant la lumière, tout en en absorbant une partie.

Les foyers les plus répandus sont ceux de 10 à 12 ampères placés à la hauteur de $4^m,45$ à 6 mètres. L'éclairement obtenu est très satisfaisant, il suffit de rappeler les résultats des installations de Paris.

ÉCLAIREMENT	AVENUE de CLICHY	BOULEVARDS (Compagnie Edison)		RUE ROYALE	
				1re installation	2e installation
Moyen	$2^{lux},19$	$3^{lux},35$	$1^{lux},98$	$3^{lux},40$	$3^{lux},78$
Min. vertical.	0 ,18	0 ,46	0 ,33	0 ,50	0 ,70
Min. horizont.	0 ,16	0 ,46	0 ,24	0 ,43	0 ,60

La hauteur des candélabres de l'avenue de Clichy est de $4^m,45$; celle des boulevards, de $5^m,95$; leur espacement, de 50 mètres en moyenne. La rue Royale possède deux installations : dans la première les candélabres sont disposés en quinconce à une distance de 30 mètres les uns des autres ; dans l'autre ils se font face deux à deux à une distance de 29 mètres en largeur et 39 mètres en longueur. Les foyers dans les deux cas sont à $5^m,50$ de haut.

Les éclairements obtenus sont beaucoup plus élevés qu'avec le gaz ; mais l'emploi de l'électricité dans ces conditions n'est possible qu'avec des rues de grande importance. Pour les petites rues il faudrait employer de faibles intensités, 4 à 5 ampères. Le tableau suivant, dû à M. Blondel, donne quelques renseignements sur la nature et le mode d'installation des lampes à arc dans les principales villes du monde.

Tous ces chiffres n'ont, du reste, rien d'absolu, et ces installations, qui donnent satisfaction actuellement, pourront, dans un temps assez court, paraître insuffisantes.

VILLES	NATURE DU FOYER	INTENSITÉ EN AMPÈRES	LARGEUR DES VOIES	ESPACEMENT DES FOYERS	HAUTEUR DES FOYERS
		ampères	mètres	mètres	mètres
Paris... Grands boulevards. .	Arc à courant	10	35	40 à 60	$5^{m},95$
Paris... Avenue de Clichy....	continu avec	10	25	50	$4^{m},45$ à $4^{m},75$
Toulouse......................	globe opalin.	10	14 à 15	50 à 70	$7^{m},00$
Perspective Newsky (Pétersbourg)	—	11 à 12	30 à 60	40 à 70	$10^{m},50$
Milan........................	—	4, 5, 6, 10, 15, 20	8 à 30	10 à 60	$9^{m},00$
Berne.......................	—	20	15 à 20	60 à 80	$9^{m},00$
Munich.......................	—	5 à 10	15 à 25	50	$8^{m},00$ à $10^{m},00$
Hambourg (Jung ferstieg).......	—	8	16	25 à 30	$8^{m},00$
Berlin... Unter den Linden...	—	14 à 15	»	41 à 60	$8^{m},00$
Berlin... Leipziger Strasse....	—	14 à 15	»	40	$5^{m},50$
Vienne.......................	—	10	»	20	$5^{m},70$
New-York.. Avenues..........	Courant continu	10 à 11	30	78	$6^{m},10$
New-York.. Rues.............	avec globe clair.	»	18	90	$6^{m},10$
Le Havre......................	Courant alternatif	12	30 à 45	70 à 80	$4^{m},50$ à $7^{m},50$
Zurich (Quai du Lac)..........	avec globe opalin.	18	30 à 40	60	$7^{m},00$
Clermont-Ferrand	—	12 à 20	»	35	$6^{m},00$
Cologne......................	—	10	7 à 10	45 à 60	$7^{m},00$

CHAPITRE XII

PROJETS D'ÉCLAIRAGE

§ 1. — Gaz

183. Quantité de gaz à produire. — Soit à éclairer une ville de dix mille habitants ; la quantité de gaz fournie devra être suffisante pour l'éclairage public et l'éclairage privé, y compris le chauffage. En nous basant sur la consommation annuelle par habitant dans les diverses villes de France : Lyon, 64 mètres cubes ; Bordeaux, 77 ; Marseille, 55 ; on pourra admettre le chiffre de 50 mètres cubes par habitant.

Dans ces conditions la quantité de gaz à fabriquer en une année sera de 500.000 mètres cubes. Si nous considérons que cette consommation a lieu d'une façon irrégulière, qu'elle est beaucoup plus grande en hiver qu'en été, nous serons amenés à prévoir des appareils suffisants pour les jours de plus grand débit. On peut admettre qu'en hiver (180 jours) on consomme les 2/3 du gaz annuel, l'autre tiers étant absorbé pendant les 180 jours d'été. La quantité de gaz à fabriquer en un jour d'hiver sera donc de :

$$\frac{2}{3} \times \frac{500.000}{180} = 1.851 \text{ mètres cubes.}$$

La consommation journalière n'est pas uniforme ; l'éclairage maximum a lieu de six à onze heures du soir et, dans ces cinq heures, on absorbe bien les 2/3 des 1.851 mètres cubes, le reste du gaz étant employé pour l'éclairage public de la nuit, les besoins du matin et le chauffage pendant le jour. Pendant les cinq heures de débit maximum, l'usine

devra donc pouvoir fournir par seconde, c'est-à-dire pendant 5×3.600 secondes :

$$\frac{2}{3} \times \frac{1.851}{5 \times 3.600} = 68 \text{ litres,}$$

soit 70 litres.

184. Appareils de fabrication. — Étant donnés ces chiffres basés sur les résultats d'expériences journalières, il est facile d'en déduire la dimension des appareils de fabrication établis pour une journée d'hiver.

Fours. — 100 kilogrammes de houille donnant 30 mètres cubes de gaz épuré, la charge d'une cornue étant de 130 à 140 kilogrammes, soit 135 en moyenne, et la distillation durant quatre à cinq heures, soit quatre et demie, la production de gaz par cornue en une journée sera de :

$$\frac{30 \times 135 \times 48}{100 \times 9} = 216 \text{ mètres cubes.}$$

Si la production maxima d'une journée doit atteindre 1.851 mètres cubes, le nombre de cornues nécessaires sera donc de :

$$\frac{1851}{216} = 8{,}5.$$

Nous prendrons, pour plus de sûreté, douze cornues réparties en deux fours de sept et cinq accolés. Cette disposition aura, comme avantage, de pouvoir se servir, au besoin, d'un seul four en été ou en hiver, et de faciliter, par suite, les visites et les réparations. Les cornues ne présentent rien de particulier. Le chauffage des fours se fait au coke provenant de la distillation.

La consommation de houille par an sera de :

$$500.000 : 30 = 1.666^{\text{ton}},666.$$

La production annuelle du coke, à raison de 70 kilo-

grammes par 100 kilogrammes de houille, sera de :

$$\frac{500.000 \times 70}{30} = 1.166^{ton},666.$$

Si on consomme 5 hectolitres de coke, c'est-à-dire 200 kilogrammes par tonne de houille distillée, la consommation annuelle sera de :

$$\frac{500.000 \times 200}{30} = 333^{ton},3,$$

soit 1/3 de la quantité totale de ce combustible.

Barillet, collecteur, jeu d'orgues. — Le barillet aura la forme ordinaire ; le diamètre des conduits verticaux sera de $0^m,150$, celui du barillet de $0^m,500$; sa longueur sera celle des fours. Il suffit pour ces dimensions de se reporter à la figure 36.

Le collecteur n'est pas indispensable ; dans le cas où on adopterait ce dispositif, il aurait comme diamètre $0^m,70$, et comme longueur celle du four.

Le calcul du jeu d'orgue, c'est-à-dire de la surface réfrigérante, peut se faire au moyen des températures d'entrée (55°) et de sortie (15°) du gaz et de sa chaleur spécifique (0,48) ; mais il est beaucoup plus simple de se servir des résultats de la pratique.

On compte 20 à 25 mètres carrés de surface réfrigérante, par 1.000 mètres cubes de gaz, en vingt-quatre heures, soit, en prenant le chiffre moyen de $22^m,0$, une surface de $40^{m2},72$ pour 1.851 mètres cubes. Si, pour réduire le volume de cet appareil encombrant, nous prenons des tuyaux annulaires avec un diamètre extérieur de $0^m,500$, un diamètre intérieur de $0^m,300$ et une hauteur de 4 mètres, on aura comme surface $4 \times 3,14\ (0,500 + 0,300) = 10$ mètres carrés par tuyau, soit, pour quatre de ces tuyaux, 40 mètres carrés. C'est la disposition adoptée figure 40.

La section de passage :

$$\pi\,(R^2 - R'^2) = 509 \text{ centimètres carrés}$$

est plus que suffisante pour la vitesse. Le débit à la seconde

est $\frac{1.851}{24 \times 3.600}$, soit 21 litres, ce qui donne pour la vitesse le chiffre de $0^m,40$, qu'on peut admettre.

Condensateur laveur. — La production du gaz étant voisine de 2.000 mètres cubes en vingt-quatre heures, nous pourrions prendre un condensateur Pelouze et Audouin n° 2; mais, son emploi n'étant pas indispensable, nous nous contenterons de colonnes à coke arrêtant à la fois le goudron et l'ammoniaque.

Comme colonnes à coke, nous choisirons deux cylindres ayant chacun 1 mètre de diamètre sur 4 mètres de haut; le volume d'un cylindre $\pi R^2 h$ est alors égal à :

$$3,14 \times \overline{0.50}^2 \times 4 = 3^{m3},14,$$

soit 30 hectolitres de coke, et pour les deux, 60. On admet généralement 2 mètres cubes à $2^{m3},5$ par 1.000 mètres cubes de gaz en vingt-quatre heures, les chiffres trouvés sont donc suffisants. La quantité d'eau nécessaire pour ce lavage, à raison de 30 à 40 litres par 1.000 mètres cubes, sera de 70 litres par jour; l'absorption de pression est de 30 millimètres environ. La figure 40 indique les détails de ces colonnes et de leur canalisation.

On pourrait, pour l'absorption de l'ammoniaque, adopter un laveur Standard n° 2.

Extracteur. — Il ne faut pas songer ici à employer un extracteur rotatif; la production à raison de 21 litres par seconde, soit 77 mètres cubes à l'heure, est insuffisante. En effet, si on compte 1 cheval par 1.000 mètres cubes de gaz à l'heure et par centimètre de contre-pression, on voit qu'en admettant une contre-pression même exagérée on trouverait un chiffre insignifiant.

Il en est de même d'un extracteur à vapeur : la consommation est de 5 à 8 kilogrammes de vapeur par 1.000 mètres cubes de gaz et par centimètre carré de contre-pression, soit, pour 1.851 mètres cubes et 30 centimètres, 4.200 kilogrammes en vingt-quatre heures. Le condenseur serait éga-

lement assez restreint; si on compte 4 mètres carrés par 1.000 mètres cubes de gaz à l'heure, on aurait, à raison de 77 mètres cubes, une surface de $0^{m2},300$.

On prévoira cependant, pour les divers besoins de l'usine (casse-coke, pompe à goudron, etc.), un moteur à gaz de 3 à 4 chevaux.

Diamètre des conduites. — La consommation journalière étant de 1.851 mètres cubes, le débit par heure est de 77 mètres cubes, soit 21 litres par seconde ; on pourra prendre des tuyaux de $0^m,150$ de diamètre, ce qui donne, comme vitesse, la section étant de 0,0176 :

$$v = \frac{0,021}{0,0176} = 1^m,20.$$

Épurateurs. — La surface d'épuration indiquée est de 3 mètres carrés à $3^{m2},5$ par 1.000 mètres cubes de gaz fabriqué, soit, pour 1.851 mètres carrés, une surface de 6 mètres carrés. Si on dispose le mélange par couches de $0^m,60$ d'épaisseur, la quantité de matière épurante sera de 6 mètres carrés $\times$ 0,60 = $3^{m3},60$, soit 4 mètres cubes. Cette surface de 6 mètres carrés peut être reportée sur une ou deux couches séparées. Nous emploierons une seule couche dans un appareil de 2 $\times$ 2, soit 4 mètres carrés (*fig.* 45), à la condition d'avoir plusieurs épurateurs.

Nous aurons quatre épurateurs disposés aux sommets d'un carré dont le centre sera occupé par une cloche distributrice. La manœuvre des couvercles se fera au moyen d'un palan.

Compteur. — Il devra faire 100 tours à l'heure. En se reportant aux données de cet appareil, on aura pour le volume utile :

$$1,851 = 100 \times 24 \times V ;$$

d'où :

$$V = 0^{m3},770.$$

Le compteur comportera un enregistreur de fabrication.

Gazomètre. — Ses dimensions sont fixées de manière à ce qu'il puisse contenir 60 à 75 0/0 de la dépense d'une journée maxima d'hiver, qui est de 1.851 mètres cubes, soit, avec une approximation suffisante, 1.300 mètres cubes. Si on adopte pour la hauteur $h = \frac{1}{3}$ D, on aura :

$$V = \frac{3,14 \times D^2}{4} \frac{D}{3} = \frac{3,14 \times D^3}{12};$$

d'où :

$$D = \sqrt[3]{\frac{1.300 \times 12}{3,14}} = 17^m,5$$

et :

$$H = 5^m,0.$$

Le volume de la partie cylindrique $\frac{\pi D^2}{4}$ H=1.208 mètres cubes.

En prenant pour la calotte 0,80, le volume de cette dernière sera égal à :

$$\pi h \left(\frac{D^2}{8} + \frac{h^2}{6}\right) = 3,14 \times 0,80 \left(\frac{\overline{17.50}^2}{8} + \frac{\overline{0.80}^2}{6}\right) = 96 \text{ mètres cubes.}$$

La contenance totale est de 1.304 mètres cubes (*fig.* 47).

Régulateurs d'émission. — Comme nous le verrons par la suite, de l'usine partent deux tuyaux d'alimentation. Sur chacun d'eux nous installerons un régulateur d'émission, avec enregistreur de pression.

185. Emplacement et distribution de l'usine. — Il est certain qu'on aurait intérêt à placer l'usine au centre même de la ville, on réduirait au minimum les pertes de charge et, par suite, le diamètre des canalisations ; mais d'autres considérations nous obligent à la placer à la périphérie, nous choisirons de préférence le voisinage de la voie ferrée, de manière à pouvoir, au moyen d'un raccordement, amener directement les wagons de charbon.

Quant à la disposition des appareils, elle est basée sur l'importance qu'il y a à réduire au minimum les manipulations.

PLAN DE L'USINE A GAZ.

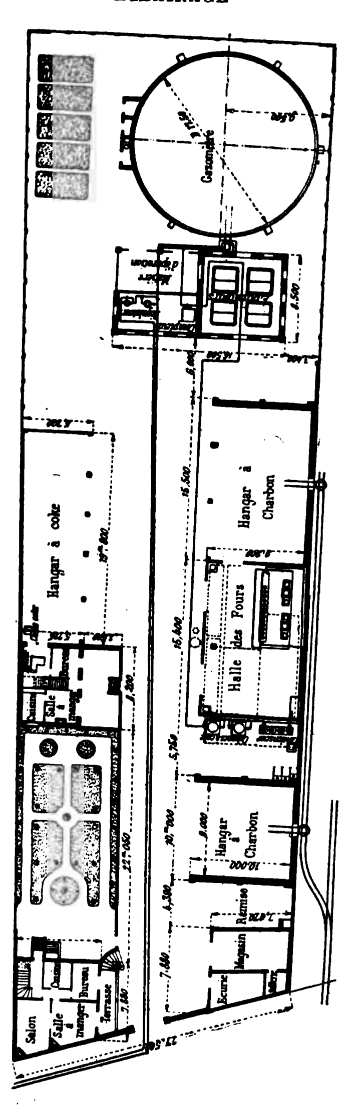


Fig. 202.

Il suffit de se reporter à la figure 202, pour se rendre compte de la distribution adoptée.

186. Calcul des conduites. — *Choix de la canalisation.* — Chaque rue devra être parcourue par une conduite susceptible de fournir le gaz nécessaire à l'éclairage public et privé. Nous admettrons que la consommation est proportionnelle au nombre d'habitants ; ce qui n'est pas tout à fait exact, car les grandes artères, tout en ayant un nombre d'habitants moindre, exigent plus d'éclairage. On pourrait, du reste, affecter d'un coefficient les rues importantes ; le calcul serait le même.

Au moment le plus chargé, la consommation est de 70 litres par seconde, pour dix mille habitants, soit $0^{lit},007$ par habitant. Le débit par rue est alors facile à établir, on aura le tableau suivant :

RUES	NOMBRE D'HABITANTS	CONSOMMATION PAR SECONDE	RUES	NOMBRE D'HABITANTS	CONSOMMATION PAR SECONDE
A	320	$2^{lit},240$	*Reports.*	6.040	$42^{lit},280$
B	950	6 ,650	*n*	530	3 ,710
C	200	1 ,400	*o*	300	2 ,100
D	220	1 ,540	*p*	40	0 ,280
E	240	1 ,680	*q*	300	2 ,100
a	30	0 ,210	*r*	130	0 ,910
b	180	1 ,260	*s*	200	1 ,400
c	70	0 ,490	*t*	220	1 ,540
d	120	0 ,840	*u*	100	0 ,700
e	700	4 ,900	*v*	250	1 ,750
f	400	2 ,800	*x*	200	1 ,400
g	700	4 ,900	*y*	200	1 ,400
h	680 + 150	5 ,810	L	580	4 ,060
i	140	0 ,980	M	170 + 500	4 ,690
j	400	2 ,800	N	»	»
k	100	0 ,700	O	70	0 ,490
l	240	1 ,680	P	70	0 ,490
m	200	1 ,400	Q	100	0 ,700
A reporter.	6.040	$42^{lit},280$	TOTAUX..	10.000	$70^{lit},000$

N. B. — La rue *h* comporte un collège de 150 élèves, et la place M une caserne pour 500 soldats.

Les conduites se branchant les unes sur les autres, il est nécessaire de les classer par ordre d'importance. Il n'y a pas de règle fixe à ce sujet ; en se reportant au plan de la ville (*fig.* 203), on voit comment se fait l'alimentation. Nous avons admis trois groupes de conduites, primaires, secondaires et tertiaires. Quelques-unes n'occupent pas la longueur entière de la rue, la consommation totale est alors répartie proportionnellement à la distance empruntée. De l'usine partiront, par la rue *p*, deux conduites maîtresses, de manière qu'en cas d'avarie à l'une l'autre puisse desservir le réseau. Une seule alimentera les brûleurs de *p*. Un numéro d'ordre a été donné à chaque branchement. Le tableau ci-dessous indique ce classement :

NOMS DES RUES	NUMÉROS	LONGUEUR	CONSOMMATION EN LITRES
	Conduites principales		
		mètres	
p (entière)............	0_1	110	0lit,280
p (entière)............	0_2	110	»
u (de *p* à D)..........	1	150	0 ,490
D (de *u* à *o*)..........	2	140	0 ,960
C (entière)............	3	265	1 ,400
B (de C à A)	4	225	4 ,050
A (entière + place M) ..	5	180 + 150	2,240 + 4,690
u (de *p* à *h*)..........	6	125	0 ,210
h (de *u* à *o*)..........	7	425	4 ,410
Places N + O..........	8	75	0 ,490
	Conduites secondaires		
D (de *u* à la fin).......	9	85	0 ,580
E (de *j* à *t*)...........	10	240	1 ,180
o (entière + Q)........	11	240	2,100 + 0,700
n —	12	230	3 ,710
x —	13	190	1 ,400
f —	14	300	2 ,800
d —	15	130	0 ,840
e —	16	180	4 ,900
i (de O à *o* + place P).	17	315	0,735 + 0,490
Place L...............	18	130	4 ,060
q (de B à *t*)...........	19	200	1 ,050

NOMS DES RUES	NUMÉROS	LONGUEUR	CONSOMMATION EN LITRES
	Conduites tertiaires		
q (de *t* à la fin)........	20	200	1 ,050
s (entière).............	21	175	1 ,400
t —	22	185	1 ,540
r —	23	135	0 ,910
k —	24	80	0 ,700
j —	25	290	2 ,800
l —	26	95	1 ,680
m —	27	90	1 ,400
v —	28	260	1 ,750
g —	29	440	4 ,900
y —	30	300	1 ,400
b —	31	500	1 ,260
c —	32	190	0 ,490
a —	33	90	0 ,210
i (de *o* à la fin)........	34	100	0 ,245
h (de *u* à la fin)........	35	145	1 ,400
E (de *t* à la fin)........	36	110	0 ,500
B (de C à la fin)........	37	140	2 ,600
	TOTAL....................		70 ,000

Nous supposerons que la circulation du gaz se fait dans un sens déterminé, de manière à pouvoir indiquer les conduites qui en alimentent d'autres; de cette façon, nous sommes amenés à classer nos conduites principales en cinq groupes, I, II, III, IV, V, chaque groupe pouvant alimenter en partie ou entièrement un autre groupe; il en sera de même pour les conduites secondaires.

Dans le tableau suivant la troisième colonne indique les conduites tertiaires; une accolade réunit les conduites alimentées par la même conduite secondaire désignée dans la deuxième colonne, celles-ci à leur tour sont alimentées par la conduite principale portée dans la première colonne.

Cette distribution est toute conventionnelle; on pourrait en adopter une autre qui ne changerait pas sensiblement les résultats.

CONDUITES PRINCIPALES			CONDUITES SECONDAIRES			CONDUITES TERTIAIRES		
Numéros	Longueur en mètres	Débit en litres	Numéros	Longueur en mètres	Débit en litres	Numéros	Longueur en mètres	Débit en litres
				Section I				
		10,080	*e*16	180	5,110	*e*16	»	4,900
						*a*33	90	0,210
			*d*15	130	1,470	*d*15	»	0,840
						1/2*b*31	250	0,630
			f.14	300	3,500	*f*14	»	2,800
						1/2*y*30	150	0,700
		2,940	»	»	»	*e*32	190	0,490
			»	»	»	1/2*g*29	220	2,450
A + M	330	6,930	»	»	»	»	»	6,930
Total..	330	19,950	»	»	»	»	»	19,950
				Section II				
		12,495	*i*17 + P	325	2,100	*i*17 + P	»	1,225
						*i*34	100	0,245
						1/2*b*31	250	0,630
			18L	130	4,060	18L	»	4,060
			1/2*n*12	115	6,335	1/2*n*12	»	1,855
						*j*25	290	2,800
						l.26	95	1,680
2/3*h*7	285	2,940	»	»	»	»	»	2,940
N + O	75	0,490	»	»	»	»	»	0,490
Total..	360	15,925	»	»	»	»	»	15,925

N.B. — 18L devant alimenter 1/2*n*12, son débit sera de 10,59, et non 4,060.

Numéros	Longueur en mètres	Débit en litres	Numéros	Longueur en mètres	Débit en litres	Numéros	Longueur en mètres	Débit en litres
				Section III				
		5,985	13*x*	190	4,550	*x*13	»	1,400
						1/2*g*29	220	2,450
						1/2*y*30	150	0,700
			1/2*q*19	100	1,435	1/2*q*19	»	0,525
						*r*23	135	0,910
		5,050	»	»	»	*k*24	80	0,700
			»	»	»	*v*28	260	1,750
			»	»	»	B37	140	2,600
C	265	1,400	»	»	»	»	»	1,400
B4	225	4,050	»	»	»	»	»	4,050
Total..	490	16,485	»	»	»	»	»	16,485

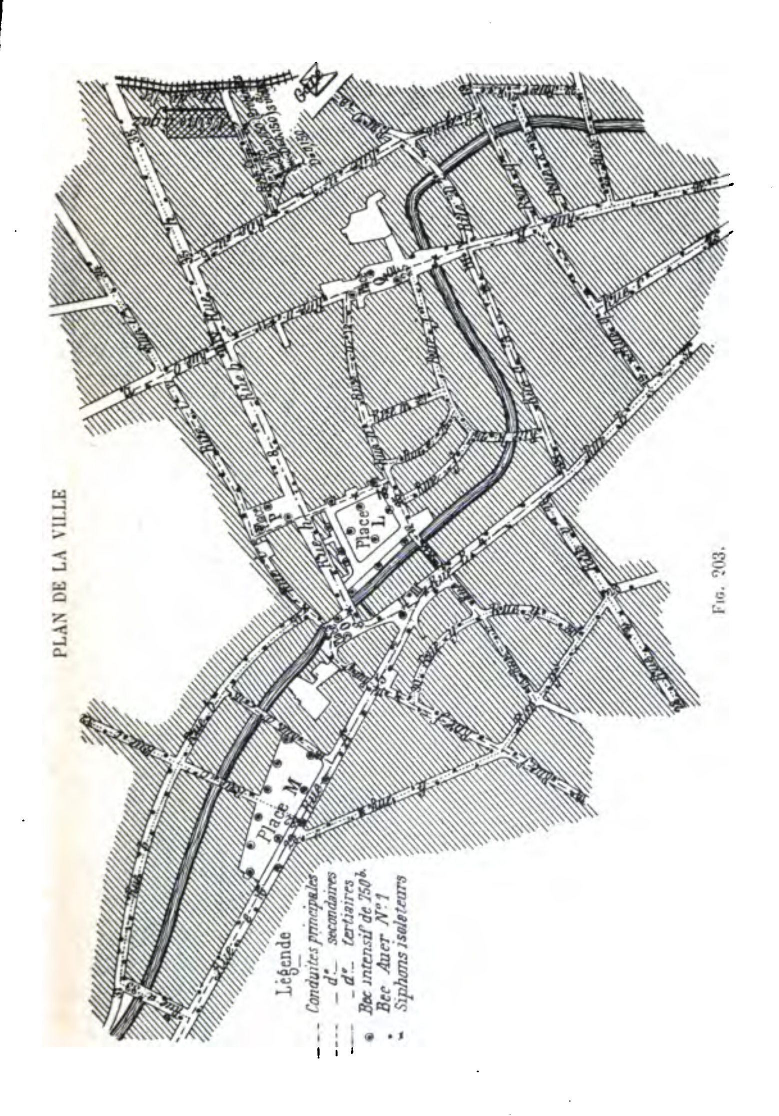

PLAN DE LA VILLE
Place L
Place M
Légende
Conduites principales
d° secondaires
d° tertiaires
Bec intensif de 750b.
Bec Auer N° 1
Siphons isolateurs

Fig. 203.

CONDUITES PRINCIPALES			CONDUITES SECONDAIRES			CONDUITES TERTIAIRES		
Numéros	Longueur en mètres	Débit en litres	Numéros	Longueur en mètres	Débit en litres	Numéros	Longueur en mètres	Débit en litres
			Section IV					
		7,455	1/2n12	115	3,255	1/2n12	»	1,855
						m27	90	1,400
			o11	240	4,200	o11	»	2,800
						h35	145	1,400
po_2	110	»	»	»	»	»	»	»
u6	125	0,210	»	»	»	»	»	0,210
1/3h7	140	1,470	»	»	»	»	»	1,470
Total..	375	9,135	»	»	»	»	»	9,135

N.B. — o11 devant alimenter 1/2n, son débit sera de 7,455, et non 4,200.

Numéros	Longueur en mètres	Débit en litres	Numéros	Longueur en mètres	Débit en litres	Numéros	Longueur en mètres	Débit en litres
			Section V					
		5,145	E10	240	5,145	E10	»	1,180
						s21	175	1,400
						E36	110	0,500
						t22	185	1,540
						1/2q19	100	0,525
		1,630	»	»	»	20q	200	1,050
			D9	85	0,580	»	»	0,580
po1	110	0,280	»	»	»	»	»	0,280
u1	150	0,490	»	»	»	»	»	0,490
D2	140	0,960	»	»	»	»	»	0,960
Total..	400	8,505	»	»	»	»	»	8,505

Remarquons maintenant que V alimente III, IV alimente II, et que I reçoit du gaz de II et de III; on aura :

Débit.				Longueur.
I	$= 19^{lit},950$		$= 19^{lit},950$	$330^m,00$
II = II + 1/2 I	= 15 ,925	+ $9^{lit},975$	= 25 ,900	360 ,00
III = III + 1/2 I	= 16 ,485	+ 9 ,975	= 26 ,460	490 ,00
IV = IV + II	= 9 ,135	+ 15 ,925	= 25 ,020	375 ,00
V = V + III	= 8 ,505	+ 16 ,485	= 24 ,990	400 ,00
Total.......	70 ,000			

Connaissant le débit et la longueur, il est alors très facile de calculer le diamètre. Nous supposerons, au départ de l'usine, une pression de 100 millimètres. La perte de charge admise est de 15 millimètres pour les conduites principales réparties à raison de 5 à 6 millimètres par tronçon, 5 à 6 millimètres pour les conduites secondaires, et 4 à 5 millimètres pour les tertiaires, soit au total 25 millimètres de perte.

Faisons le calcul de I, on a :

$$D^5 = \frac{0,67Q^2L}{E},$$

dans le cas particulier Q = 72 mètres cubes à l'heure, L = 330, et, si on prend E = 4, on aura :

$$D^5 = \frac{0,67 \times \overline{72}^2 \times 330}{4} = \frac{1.145.664}{4} = 286.413.$$

Parmi les chiffres donnant des diamètres courants, celui qui est immédiatement supérieur est le diamètre de 0,125 qui correspond à 304.275. Si on se reportait aux tables d'Arson, on trouverait qu'il faudrait adopter le diamètre de 0,135 établi pour un débit de 73 mètres cubes et une perte de charge de 25 millimètres par kilomètre, soit $8^{mm},25$ pour 330 mètres. Dans ces conditions nous prendrons 0,125, bien suffisant. La vitesse est en effet de :

$$Q = \omega v, \qquad v = \frac{19.950}{0,012222} = \frac{0,019950}{0,0122} = 1^m,60,$$

chiffre qui n'a rien d'exagéré.

On pourrait prendre la méthode de D. Monnier que nous appliquons à la conduite secondaire II, par exemple. Le débit total de II, Q, est de $25^{lit},900$; la dépense q le long du tronçon est égale à $15^{lit},925$, car II doit fournir encore $9^{lit},975$ pour I. On a alors pour le rapport :

$$\frac{q}{Q} = \frac{15.925}{25.400} = 0,61 ;$$

d'où, en remplaçant dans la formule :

$$M = 1 - \frac{q}{Q} + \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{6 \times n}\right)\frac{q^2}{Q^2},$$

les lettres par leurs valeurs, on aura, puisque *n* est pris égal à 10 :

$$M = 1 - 0,61 + 0,13 = 0,52 ;$$

et pour D^5, Q à l'heure étant égal à 93^{m3}, L à 360 et E à 6^{mm} :

$$D^5 = \frac{0,84 \times 0,52 \times \overline{93}^2 \times 360}{6} = \frac{0,43 \times \overline{93}^2 \times 3.60}{6}.$$

Le coefficient 0,67 est devenu 0,43. On voit donc de quelle importance est le débit le long de la conduite.

Ce résultat confirme notre premier calcul dans lequel nous avons pris 0,125 et non 0,135.

En faisant le même calcul pour les autres conduites, on aurait pour des pertes de charge de 6 millimètres :

$$II = 0,135, \quad III = 0,150, \quad IV = 0,150, \quad V = 0,150.$$

Nous adopterons, pour la canalisation, des tuyaux en fonte à emboîtement ayant les diamètres de 0,125, 0,135 et 0,150 et des longueurs respectives correspondant aux diverses sections suivantes :

Pour D = 0,125......... L = 330^m
0,135......... = 360^m
0,150......... = 490 + 375 + 400 = 1.265^m

Le calcul serait le même si on employait des tuyaux Chameroy; toutefois, les pertes de charge étant moindres, on pourrait, sans inconvénient, adopter des diamètres plutôt faibles que forts.

Le calcul du diamètre des autres conduites se fera de la même façon, en se servant du tableau précédent qui donne les longueurs et les débits de chaque partie de la canalisation. Étant données es longueurs relativement faibles de ces conduites ‹ es diamètres fixés à l'avance des tuyaux du commerce, des divergences dans les pertes de charge n'influent que fort peu sur le résultat.

Jusqu'à 0,06 nous conserverons les tuyaux en fonte; au dessous nous emploierons le plomb. Le tableau ci-après

indique les chiffres trouvés pour les diamètres, ainsi que la vitesse, toujours inférieure à 2 mètres par seconde.

NUMÉROS des CONDUITES	DIAMÈTRE	LONGUEUR	DÉBIT		SECTION	VITESSE
			par SECONDE	par HEURE		
	m	mètres	lit	m^3	m	m
III (C + B4)	0,150	490	26,460	95,250	0,01776	1,43
IV (po_2 + *u*6 + 1/3*h*)	0,150	375	25,020	90,070	»	1,40
V (po_1 + *u*1 + D2)	0,150	400	24,990	89,960	»	1,40
II (2/3*h*7 + N + O)	0,135	360	25.900	93,240	0,01430	1,81
I (A + M)	0,125	330	19,950	71,820	0,01220	1,63
L18	0,100	130	10,595	38,130	0,00780	1,51
E10	0,080	240	5,145	18,520	0,00500	1,00
*e*16	—	180	5,110	18,390	»	1,00
*x*13	—	190	4,550	16,380	»	0,91
*o*11	—	240	7,455	26,830	»	1,49
1/2*n*12	—	115	6,335	22,900	»	1,26
1/2*n*12	0,060	115	3,255	11,730	0,00280	1,27
*f*14	—	300	3,500	12,600	»	1,23
*i*17 + P	—	325	2,100	7,200	»	0,73
*j*25	—	290	2,800	10,080	»	1,00
B37	—	140	2,600	9,360	»	0,93
*g*29	—	440	2,450	8,920	»	0,87
*v*28	0,043	260	1,750	6,300	0,001452	1,20
*t*22	—	185	1,540	5,544	—	1,05
*l*26	—	95	1,680	6,048	—	1,10
*d*15	—	130	1,470	5,292	—	1,00
1/2*q*19	—	100	1,435	5,166	—	—
*s*21	—	175	1.400	5,000	—	—
*h*35	—	145	—	—	—	—
*m*27	—	90	—	—	—	—
*q*20	0,037	200	1,050	3,780	0,001075	0,90
*r*23	—	135	0,910	3,726	—	0,84
D9	0,030	85	0,580	2,088	0,000707	0,82
*b*31	—	500	0,630	2,268	—	0,89
*k*24	—	80	0,700	2,520	—	1,00
1/2*q*19	—	100	0,525	1,890	—	0,72
E36	—	110	0,500	1,800	—	0,70
*y*30	—	330	0,700	2,520	—	1,00
*c*32	—	190	0,490	1,764	—	0,70
*i*34	0,025	100	0,245	0,882	0,000491	0,50
*a*33	—	90	0,210	0,656	—	0,42

Dans le calcul du diamètre des conduites il n'a pas été tenu compte des différences de niveau entre les points à desservir et l'usine : il est vrai de dire que les diamètres ont été pris assez élevés pour n'avoir pas à faire entrer en ligne de compte la différence de $0^{mm},78$ de pression par mètre d'altitude.

Par contre, il est utile de donner à la canalisation une certaine pente, 8 millimètres par mètre, pour rassembler les eaux dans les syphons isolateurs installés en certains points. Ces appareils constituant les points bas, il faudra fixer l'altitude des points hauts pour que la répartition des eaux se fasse d'une manière uniforme.

Il est également indispensable de prévoir les pièces spéciales pour raccorder les conduites entre elles aux changements de direction (*fig.* 202).

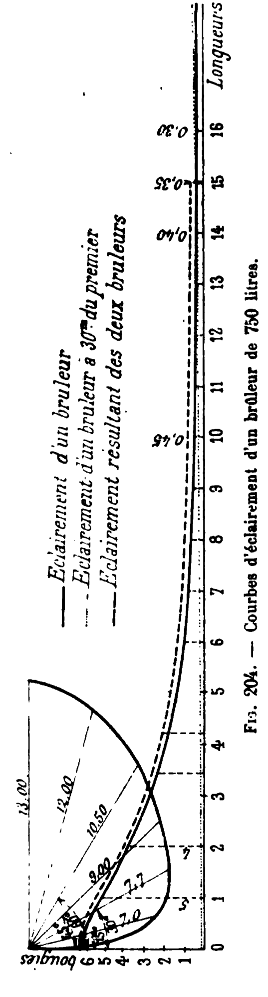


Fig. 204. — Courbes d'éclairement d'un brûleur de 750 litres.

187. Éclairage public. — Nous emploierons pour l'éclairage public deux sortes de brûleurs : des becs intensifs à air chaud de 750 litres pour les places publiques et des brûleurs Auer n° 1 de 85 litres pour les rues ordinaires.

Brûleurs intensifs. — La courbe des intensités photométriques étant donnée, il est facile, pour une hauteur de 3m,50, d'en déduire la courbe des éclairements (*fig.* 204) et l'intensité hémisphérique moyenne. Cette dernière est égale à 100 bougies Nous allons déterminer la valeur de l'éclairement moyen de ce brûleur par deux méthodes différentes. Le résultat n'est que relatif, car on ne tient pas compte de la lumière fournie par les becs voisins qui ne peut qu'accroître le chiffre obtenu. En prenant ce dernier comme minimum, on sera donc sûr, pratiquement, d'avoir une valeur plus grande.

1° Prenons la formule :

$$SE_m = \frac{e's_1}{2} + e\left(\frac{s_1}{2} + s_2 + \dots \frac{sn}{2}\right) + e''\frac{sn + S}{2} + e_0 S.$$

Comme dans le cas particulier il s'agit de cercles, les surfaces $s_1 sn, \dots, S$, sont proportionnelles au carré des rayons. Faisons le calcul pour un rayon de 10 mètres, il serait le même pour tous les rayons. On aura, d'après la figure 204, si :

e est la différence d'éclairement d'une courbe à l'autre : $e = 1$;

e', différence entre l'éclairement maximum et celui de la première courbe : $e' = 6 - 5 = 1$;

e'', différence entre l'éclairement de la dernière courbe et le minimum : $e'' = 1 - 0{,}45 = 0{,}55$;

e_0, éclairement minimum, $= 0{,}45$.

D'après la figure les rayons correspondant aux différentes courbes sont :

$$s_1 = 1 ; s_2 = 1^m{,}80 ; s_3 = 2^m{,}80 ; s_4 = 4^m{,}00 ; s_5 = 6^m{,}00 ; S = 10,$$

d'où :

$$100E_m = \frac{1}{2} + 1\left(\frac{1}{2} + \overline{1{,}8}^2 + \overline{2{,}8}^2 + \overline{4}^2 + \frac{\overline{6}^2}{2}\right)$$
$$+ 0{,}55\left(\frac{6^2 + 10^2}{2}\right) + 0{,}45 \times \overline{10}^2 = 128{,}40$$
$$E_m = 1^{lux}{,}28$$

2° Prenons, au contraire, la formule $SE_m = 2I_s(1 - \cos\alpha)$.

Dans le cas particulier :

$$Is = 100^b ; \tan\alpha = \frac{10}{3{,}50} = 2{,}80 ; \cos\alpha = 0{,}379 ; 1 - \cos\alpha = 0{,}621.$$

On a alors :

$$E_m = \frac{2 \times 100 \times 0{,}621}{100} = 1{,}242.$$

Les chiffres obtenus par les deux méthodes sont comparables. On a, pour les différentes valeurs de S, le tableau suivant.

RAYONS	VALEURS DE E_m		ÉCLAIREMENT MINIMUM
	1re méthode	2e méthode	
10	1lux,284	1lux,242	0lux,45
14	0 ,990	0 ,775	0 ,40
15	0 ,938	0 ,633	0 ,35
16	0 ,766	0 ,610	0 ,30

Nous adopterons le rayon de 15 mètres. Il est facile de mesurer les éclairements moyen et minimum dus à deux candélabres : il suffit, aux ordonnées de la courbe d'éclairement d'un seul bec, d'ajouter celles de la courbe du deuxième brûleur ; on obtient une courbe en pointillé dont on aura à prendre l'ordonnée moyenne pour avoir l'éclairement demandé. En appliquant la formule précédente, on aura :

$$e' = 6{,}10 - 5 = 1{,}1, \qquad e = 1, \qquad e'' = 1 - 0{,}70 = 0{,}30$$
$$e_0 = 2 \times 0{,}35 = 0{,}70$$
$$s_1 = 1{,}10, \quad s_2 = 2, \quad s_3 = 3, \quad s_4 = 4{,}50, \quad s_5 = 7, \quad S = 15.$$

On aura :

$$SE = \frac{1{,}10 \times \overline{1{,}10}^2}{2} + 1\left(\frac{\overline{1{,}10}^2}{2} + \overline{2}^2 + \overline{3}^2 + \overline{4{,}50}^2 + \frac{\overline{7}^2}{2}\right) + 0{,}30\left(\frac{\overline{7}^2 + \overline{15}^2}{2}\right) + 0{,}70 \times \overline{15}^2 = 256{,}95$$

d'où :

$$E_m = 1^l{,}141\,;$$

et l'éclairement minimum est égal à $2 \times 0{,}35 = 0^{lux}{,}700$, chiffres suffisants.

Dans ces conditions on a pour l'éclairage des places, à raison de 1 candélabre par $\overline{705^{m}}^2 = \pi R^2 = \pi \overline{15}^2$, les chiffres suivants :

	SURFACE mètres carrés.	CANDÉLABRES calculés.	CANDÉLABRES exacts.		SURFACE mètres carrés.	CANDÉLABRES calculés.	CANDÉLABRES exacts.
L	8.100	11	12	O	1.000	2	2
M	9.000	12	12	P	1.500	2	3
N	1.875	3	1	Q	2.125	4	3

Soit, au total, 33 brûleurs.

La figure 205 indique, pour la place L, comment nous sommes arrivés à modifier le chiffre 11 trouvé, et à mettre douze candélabres par besoin de symétrie, comme cela arrive assez souvent. Le débit des brûleurs de 750 litres étant, par heure pour quatre brûleurs, de 3 mètres cubes, soit $0^{lit},877$ par

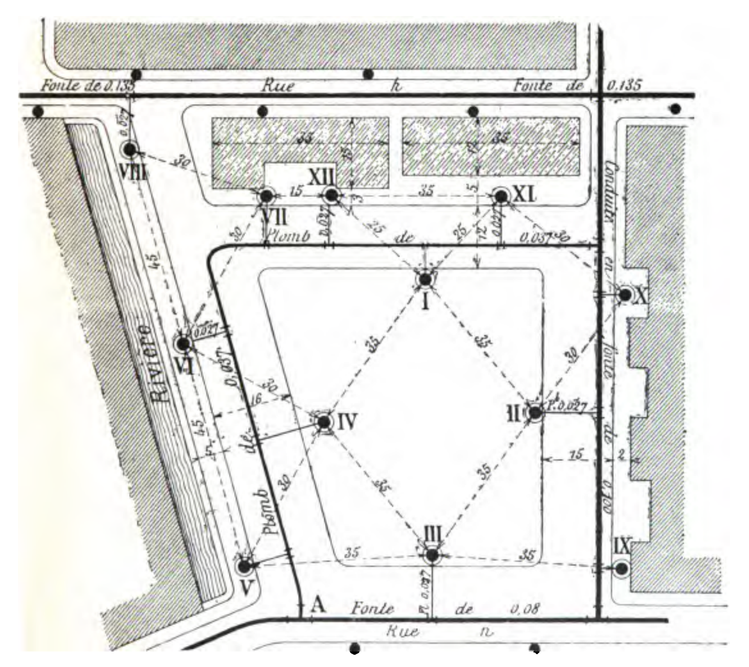


Fig. 205. — Éclairage de la place L.

seconde, on prendra une conduite en plomb de $0^m,037$, et pour chaque brûleur la conduite ordinaire de $0^m,027$. Pour le carrefour N, nous ne mettrons qu'un brûleur; l'éclairage se trouve, en effet, complété par celui des becs Auer des rues avoisinantes.

Brûleur Auer n° 1. — Ces brûleurs seront installés à 3 mètres de hauteur. Connaissant la courbe d'éclairement de

ce brûleur (*fig.* 205), nous allons déterminer par le calcul l'éclairement moyen pour différents rayons. Donnons, comme exemple, le calcul pour un rayon de 9 mètres; on aura d'après la courbe d'éclairement,

$$e' = 0{,}40, \qquad e = 0{,}2, \qquad e'' = 0{,}03, \qquad e_0 = 0{,}17.$$

Les surfaces correspondantes ont comme rayon :

$$s_1 = 2^{m},\ s_2 = 2{,}66,\ s_3 = 3{,}50,\ s_4 = 4{,}5,\ s_5 = 6,\ s_6 = 8,\ S = 9;$$

d'où nous tirons :

$$\overline{9}^2 E_m = \frac{0{,}40 \times 2^2}{2} + 0{,}20\left(\frac{\overline{2}^2}{2} + \overline{2{,}66}^2 + \overline{3{,}50}^2 + \overline{4{,}50}^2 + \overline{6}^2 + \frac{\overline{8}^2}{2}\right)$$
$$+ 0{,}03\left(\frac{\overline{8}^2 + \overline{9}^2}{2}\right) + 0{,}17 \times \overline{9}^2 = 38{,}65,$$

d'où :

$$E_m = 0{,}477.$$

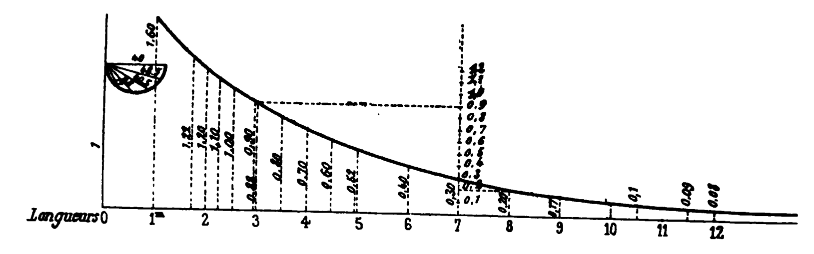


FIG. 206. — Courbe d'éclairement d'un brûleur Auer n° 1.

En faisant le calcul pour les valeurs différentes de S, on aura :

S = 9^m	E moyen = 0^lux,477	E minimum 0,170
S = 10	= 0 ,412	0,120
S = 11	= 0 ,365	0,095
S = 12	= 0 ,325	0,080
S = 13	= 0 ,296	0,078

Nous pourrons prendre un rayon égal à 12^m,50; l'éclaire-

ment moyen, dû à deux becs voisins, ne sera pas éloigné de $0^{lux},40$ et l'éclairement minimum de $0{,}078 \times 2 = 0{,}156$, chiffre suffisant. Les candélabres seront donc espacés de 25 mètres les uns des autres et alternés d'une rue à l'autre. La largeur d'une rue étant de 10 mètres, il faudra compter pour 100 mètres de longueur cinq candélabres, c'est-à-dire que le nombre des candélabres est égal à $\frac{D}{25} + 1$, D étant la longueur de la rue. Il sera bon également de placer un candélabre à l'angle de chaque rue, ce qui pourra modifier un peu l'espacement et le nombre.

Dans les artères principales les candélabres seront placés à $0^m,50$ de la bordure du trottoir. Dans les rues de moindre importance on emploiera des candélabres-consoles et même de simples consoles, placées à $4^m,50$ et 5 mètres de haut pour laisser libre le passage des voitures.

Dans ces conditions le nombre des brûleurs est indiqué dans le tableau suivant, et leur emplacement est figuré sur le plan (*fig.* 202).

RUES	LONGUEUR	SURFACE	NOMBRE de brûleurs	RUES	LONGUEUR	SURFACE	NOMBRE de brûleurs
	mètres	mètres			mètres	mètres	
A	180	2.250	7	*Report.*			184
B	365	4.020	16	*k*	80	400	3
C	265	2.000	10	*l*	95	570	4
D	225	1.370	9	*m*	90	680	3
E	350	3.500	15	*n*	230	1.600	10
a	90	630	3	*o*	240	1.920	9
b	500	4.750	19	*p*	110	1.650	4
c	190	1.140	8	*q*	400	3.200	17
d	130	1.170	5	*r*	135	680	6
e	180	2.250	8	*s*	175	1.300	7
f	300	1.950	14	*t*	185	1.050	8
g	440	7.800	18	*u*	275	1.930	10
h	560	3.920	24	*v*	260	2.600	9
i	400	5.000	17	*x*	190	1.300	8
j	290	2.000	11	*y*	300	3.540	8
		A reporter.	184			Total....	290

Dépense d'éclairage. — Il nous est facile d'établir maintenant la consommation moyenne de l'éclairage public. Si nous prenons une rue ordinaire où l'éclairage doit durer de six heures du soir à six heures du matin, soit douze heures; d'autre part, si on remplace les becs à récupération de 750 litres, à partir de onze heures par des becs de 140 litres, soit cinq heures d'éclairage intensif et sept heures d'éclairage ordinaire, on aura :

Pour 290 becs Auer......	$290 \times 85 \times 12 =$	$296^{m^3},82$
33 brûleurs intensifs.	$33 \times 750 \times 5 =$	$123\ ,75$
33 becs à 140........	$33 \times 140 \times 7 =$	$32\ ,34$
Total.....................		$452^{m^3},91$

soit, approximativement, un quart de la consommation journalière du gaz prévue.

Nous supposons que l'allumage se fait électriquement.

§ 2. — ÉLECTRICITÉ

188. Lampes à arc de 10 ampères. — *Choix des foyers.* — Dans ce nouveau projet nous supposerons que nous avons à faire l'éclairage public à l'électricité; nous nous contenterons d'indiquer la nature et le nombre des foyers, l'étude de la canalisation étant examinée dans un autre ouvrage de la *Bibliothèque du Conducteur de Travaux publics*[1]. Nous donnerons enfin, à titre d'exemple, l'éclairage d'une maison particulière.

L'éclairage des grandes rues et places de la ville de l'exemple précédent sera fait au moyen de lampes à arc de 10 ampères. Pour les rues de moindre importance, nous prendrons des lampes à arc de 5 ampères.

Intensité sphérique moyenne. — La lampe est placée sous globe opalin, et nous connaissons sa courbe photométrique

[1] *Applications de l'Électricité*, par M. DACREMONT.

d'intensité, sous différents angles, qui correspond aux chiffres suivants :

α	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	180°
Iα	39,2	45,2	58,0	70,3	54,7	43,4	34,2	24,9	16,9	10,4	6

Cette courbe est le point de départ de tous les calculs qui vont suivre ; il est, du reste, indispensable de la connaître, quel que soit le foyer lumineux adopté.

Calculons d'abord l'intensité sphérique moyenne ; avec un rayon égal à l'unité, décrivons un demi-cercle (*fig.* 207) et, aux différents points A, B, C, D, correspondant aux angles 0°, 15°,

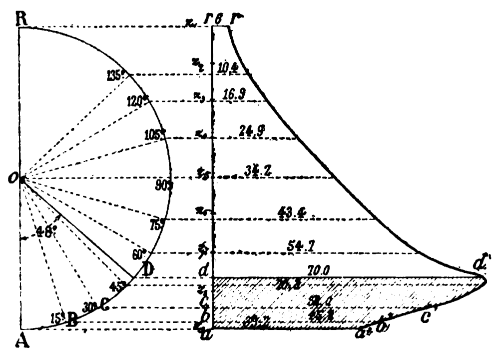


Fig. 207. — Intensité sphérique moyenne.

30°, etc., menons les lignes A*a*, B*b*, C*c*. Il suffira, sur la ligne des abscisses, d'élever des ordonnées *aa'*, *bb'*, *cc'*, etc., égales aux valeurs Iα sous différents angles (échelle ordinaire, 5 millimètres pour 10 bougies). En réunissant les points *a'*, *b'*, *c'*, *d'*, on obtient une courbe dont l'ordonnée moyenne mesure l'intensité sphérique moyenne. Déterminons la surface limitée par cette courbe ; en divisant la longueur *ar* en huit parties égales et menant les ordonnées correspondantes ; d'après la méthode de Simpson, si z_1, z_9 sont les ordonnées extrêmes, et d l'intervalle qui sépare deux ordonnées, on aura :

$$S = Is \times 8d = \frac{d}{3}[z_1 + z_9 + 4(z_2 + z_4 + z_6 + z_8) + 2(z_3 + z_5 + z_7)].$$

En remplaçant z_1, ..., z_9 par leur valeur, on aura :

$$Is = \frac{1}{24}[(6+39,2)+4(8+24,9+42,5+70)+2(16,8+34,2+54,7)] = 34^c,91.$$

On aurait pu calculer directement cette intensité. On a vu que Is :

$$Is = \frac{Ih}{2} + \frac{Im}{4}.$$

Ih étant l'intensité horizontale, et I*m* l'intensité maxima, dans le cas particulier, on a :

$$Is = \frac{34,2}{2} + \frac{70,3}{4} = 34^c,7.$$

La différence est insignifiante. On peut calculer de la même façon l'intensité hémisphérique inférieure. La méthode graphique donne, pour l'hémisphère inférieur, $52^c,0$, et, pour l'hémisphère supérieur, 17. Le calcul aurait donné :

Hémisphère supérieur : $\frac{I_h}{2} = \frac{34,2}{2} = 17;$

Hémisphère inférieur : $\frac{I_h + I_m}{2} = 52.$

On voit que les résultats sont identiques.

Éclairement. — On peut se proposer de déterminer la hauteur du candélabre qui nous donnera la meilleure répartition de lumière. Pour cela nous allons considérer trois hauteurs très usitées, $4^m,45$, $4^m,95$ et $5^m,95$. Les courbes d'éclairement correspondantes sont indiquées sur la figure 208. Comme on le voit, elles sont très différentes les unes des autres ; celle de 5,95 donne la répartition de lumière la plus uniforme. Ce chiffre correspond à l'éclairement moyen le moins élevé, comme il va être démontré par la suite.

Le calcul de l'éclairement moyen pourrait porter sur des surfaces plus ou moins étendues ; nous nous arrêterons aux cercles qui correspondent à un éclairement minimum de

$0^l,28$, le même pour les trois hauteurs. On a alors pour R :

$$h_1 = 4,45 \qquad R_1 = 19,50$$
$$h_2 = 4,95 \qquad R_2 = 20,00$$
$$h_3 = 5,95 \qquad R_3 = 21,00$$

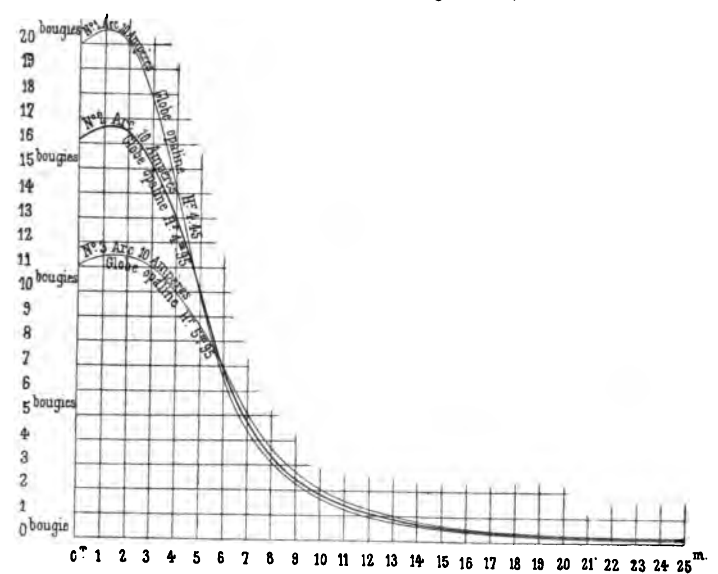


FIG. 208. — Courbes d'éclairement dans le cas de hauteurs différentes.

Éclairement moyen. — Le calcul de cet éclairement va être essayé au moyen des trois méthodes indiquées dans la partie théorique.

1° Considérons les cercles isolux ou d'égal éclairement espacés de deux en deux bougies ; dans la formule générale qui donne l'éclairement moyen, nous aurons, pour le cas particulier, $h_3 = 5,95$:

$$e' = 11,50 - 11 = 0,50, \quad e = 2, \quad e'' = 1 - 0,28 = 0,72,$$
$$e_0 = 0,28$$
$$s_1 = 3, \quad s_2 = 4,75, \quad s_3 = 6, \quad s_4 = 7, \quad s_5 = 8,7, \quad s_6 = 13,$$
$$S = 21.$$

On a pour la valeur de E_3m :

$$\overline{21}^2\, E_3m = \frac{0{,}50 \times \overline{3}^2}{2} + 2\left(\frac{\overline{3}^2}{2} + \overline{4{,}75}^2 + \overline{6}^2 + \overline{7}^2 + \overline{8{,}7}^2 + \frac{\overline{13}^2}{2}\right)$$
$$+ 0{,}72\left(\frac{\overline{13}^2 + \overline{21}^2}{2}\right) + 0{,}28 \times \overline{21}^2$$

d'où :

$$Em = \frac{889{,}83}{441} = 2{,}00.$$

En faisant un calcul analogue pour les deux autres valeurs de h, on aurait :

$$\begin{array}{ll} h_1 = 4{,}45 & E_1m = 2^{\text{lux}},74 \\ h_2 = 4{,}95 & E_2m = 2\ \ ,10 \\ h_3 = 5{,}95 & E_3m = 2\ \ ,00 \end{array}$$

2° Prenons maintenant la formule :

$$Em = \frac{2Is(1 - \cos\alpha)}{R^2};$$

et faisons le calcul pour :

$$R_2 = 20, \qquad h_2 = 4{,}95;$$

on aura :

$$\operatorname{tang}\alpha_2 = \frac{20}{4{,}95} = 4{,}00, \quad \alpha_2 = 76°, \quad \cos\alpha_2 = 0{,}242, \quad Is = 520.$$

On aura donc :

$$Em_2 = \frac{2 \times 520 \times 0{,}788}{400} = 1^{\text{lux}},97.$$

Le calcul serait identique pour les autres valeurs de h ; on aurait alors :

$$\begin{array}{llll} h_1 = 4{,}45 & \alpha_1 = 77°,10 & \cos\alpha_1 = 0{,}222 & Em_1 = 2{,}12 \\ h_2 = 4{,}95 & \alpha_2 = 76\ ,00 & \cos\alpha_2 = 0{,}242 & Em_2 = 1{,}97 \\ h_3 = 5{,}95 & \alpha_3 = 74\ ,10 & \cos\alpha_3 = 0{,}173 & Em_3 = 1{,}71 \end{array}$$

3° Par la méthode de M. Blondel, au moyen du flux utile non plus dans le cas d'un cercle, mais dans celui d'un espace rectangulaire. Faisons le calcul pour $h_1 = 4{,}45$; la largeur

de la rue étant de 10 mètres, le cône correspondant à un rayon de 5 mètres aura comme angle au sommet :

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{5}{4,45} = 1,124, \qquad \alpha_1 = 48^\circ,20.$$

Il faut calculer l'intensité sphérique correspondant à cet angle. La valeur de Iα est égale à l'ordonnée moyenne de la surface *abcd*, c'est-à-dire d'après la méthode de Simpson à 550 bougies (*fig.* 207). Pour avoir le flux Φ, il suffira de multiplier cette intensité par la surface de la zone correspondante. On a donc :

$$\Phi = 2\pi h \mathrm{I}\alpha = 2\pi \mathrm{I}\alpha\,(1 - \cos\alpha)$$
$$= 2 \times 3,14 \times 550\,(1 - 0,665) = 1.157 \text{ lumens},$$

soit, pour la moitié, 578,50.

L'éclairement produit par un foyer étant limité à 21 mètres, nous diviserons l'intervalle entre le cône primitif et cette limite en deux zones ayant (*fig.* 209) des longueurs respec-

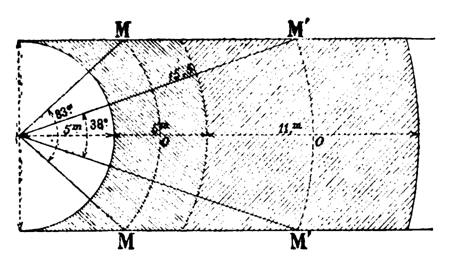


Fig. 209. — Calcul du flux utile.

tives de 5 et 11 mètres. La surface *s* de la première zone sera égale à l'arc de cercle MM $\times$ *d*, *d* longueur d'une zone. Pour la longueur MM on a :

$$l = \frac{2\pi R n}{360} = \frac{2 \times 3,14 \times 7,50 \times 83}{360} = 10^{\mathrm{m}},81.$$

La surface *s* est égale à $10,81 \times 5 = 54^{\mathrm{m}2},40$. L'éclairement

moyen, d'après la courbe 208, est de 4 bougies; on en déduit Φ_1 :

$$\Phi_1 = 54,40 \times 4 = 217^{lux},6.$$

On procéderait de même pour la deuxième zone. Les résultats du calcul sont groupés dans le tableau ci-dessous :

	d	*α*	*r*	*l*	*s*	*e*	Φ
Zone intérieure......................................							578,50
1re zone........	5	83°	7,5	10,81	54,40	4	217,60
2e zone.........	11	38	15,5	10,27	112,97	0,50	56,48
							852,58

La surface éclairée étant égale à l'intervalle entre deux foyers, multiplié par sa largeur, c'est-à-dire à $10 \times 21 = 210^{m^2}$, on aura pour l'éclairement moyen :

$$Em_1 = \frac{852,58}{210} = 4^{lux},08.$$

On procéderait de même pour les autres hauteurs; on a comme résultats pour :

$$h_1 = 4,45 \qquad Em_1 = 4,08$$
$$h_2 = 4,95 \qquad Em_2 = 3,50$$
$$h_3 = 5,95 \qquad Em_3 = 3,10$$

Les résultats sont plus élevés que les précédents, mais plus exacts, car il convient de remarquer que la méthode est plus précise; on applique en effet à chaque surface non plus l'intensité lumineuse moyenne, mais une intensité plus approchée.

On aurait pu, pour la zone intérieure, prendre l'éclairement moyen correspondant à un rayon de 5 mètres, c'est-à-dire lui appliquer le procédé employé pour les autres zones; les résultats seraient sensiblement les mêmes.

Il est facile de comparer les trois méthodes, qui donnent des résultats sinon égaux, tout au moins concordants; on a :

	1re méthode	2e méthode	3e méthode
$h_1 = 4,45$	$2^l,74$	$2^l,12$	$4^l,08$
$h_2 = 4,95$	2 ,10	1 ,97	3 ,50
$h_3 = 5,95$	2 ,00	1 ,71	3 ,10

Nous adopterons la hauteur de 5,95 qui, bien que donnant l'éclairement moyen le plus faible, permet d'obtenir une lumière plus uniforme. Avec des candélabres espacés de 42 mètres on aura un éclairement moyen compris entre 3 et 4 lux, et un éclairement minimum égal à $2 \times 0,28 = 0^{l},56$, chiffres très acceptables.

Répartition des foyers de 10 ampères. — Nous avons dit qu'on emploierait les lampes à arc de 10 ampères sur les places publiques et les rues principales. Le rayon d'éclairement étant de 21 mètres, la surface est de :

$$\pi R^2 = 3,14 \times \overline{441} = 1.384 \text{ mètres carrés.}$$

Pour les places publiques nous compterons autant de foyers que le nombre 1.384 sera contenu de fois dans la surface de la place Pour les rues il en faudra, en les espaçant de 42 à 45 mètres, un nombre égal au quotient de la longueur de la rue par 42 ou 45. Les résultats sont indiqués sur la figure 210 et résumés dans le tableau ci-dessous :

RUES ou PLACES	LONGUEUR	SURFACE	NOMBRE DE LAMPES	
			Calculé	Réel
	mètres	mètres		
L	»	8.100	6	6
M	»	9.000	7	7
N	»	1.875	2	2
O	»	1.000	1	2
P	»	1.500	2	2
Q	»	2.125	2	2
A	180	2.250	4	4
B	365	4.020	8	9
C	265	2.000	6	6
D	225	1.370	5	6
E	350	3.500	8	7
Total......................				53

Le nombre des lampes ne saurait se calculer exactement ;

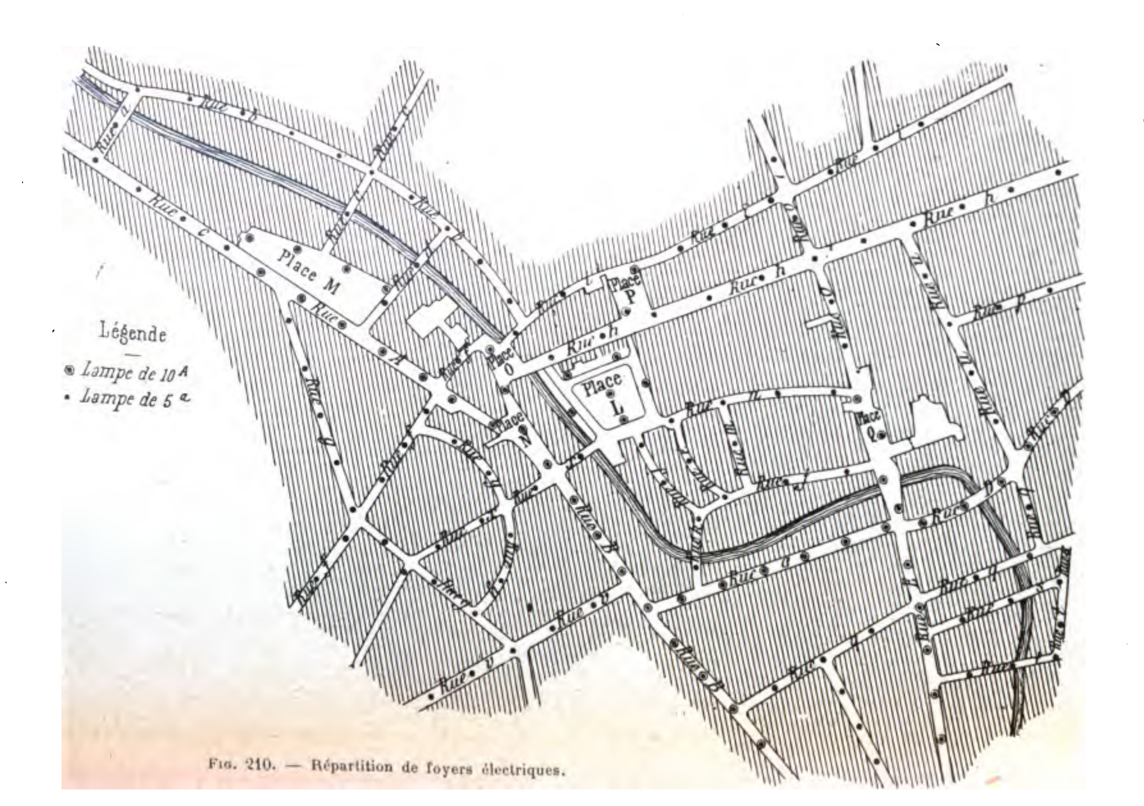


Fig. 210. — Répartition de foyers électriques.

on est amené à le modifier par suite des conditions locales.

Sur les places les foyers seront sur candélabres. Dans les rues, au lieu de candélabres, on pourra les suspendre directement au milieu, disposition qui, tout en ne gênant pas la circulation, donne une meilleure utilisation de la lumière.

189. Lampes à arc de 5 ampères. — Pour les autres rues nous adopterons les lampes à arc de 5 ampères, bien préférables aux lampes à incandescence qu'il faudrait en nombre trop considérable pour obtenir une lumière suffisante. L'intensité sphérique moyenne étant de 300 bougies, en les espaçant de 50 mètres, soit 25 de rayon pour chaque foyer, d'après les méthodes précédentes, on trouverait $0^{lux},22$ comme éclairement moyen, et $0^{lux},15$ comme éclairement minimum. Dans ces conditions, en adoptant ces chiffres, le nombre des foyers est indiqué dans le tableau ci-dessous :

RUES	LONGUEUR	NOMBRE de FOYERS	RUES	LONGUEUR	NOMBRE de FOYERS
	mètres			mètres	
a	90	2	*m*	90	1
b	500	9	*n*	230	4
c	190	2	*o*	240	4
d	130	2	*p*	110	2
e	180	4	*q*	400	6
f	300	6	*r*	135	3
g	440	9	*s*	175	3
h	560	11	*t*	185	4
i	400	8	*u*	275	4
j	290	6	*v*	260	4
k	80	1	*x*	190	5
l	95	1	*y*	300	4
			Total...........................		105

Énergie dépensée. — Supposons que la distribution se fasse sous 115 volts aux bornes de la dynamo, les lampes étant

groupées deux par deux en dérivation, on aura :

		Watts
Lampes de 10 ampères...	$1/2 \times 10 \times 115 \times 53 =$	30.475
Lampes de 5 — ...	$1/2 \times 5 \times 115 \times 105 =$	30.188
	Total............... =	61.663

Quant à l'installation des lampes, elle se fera conformément aux renseignements indiqués à la partie électrique.

190. Éclairage d'un appartement. — *Emplacement des lampes.* — Soit à établir l'éclairage électrique dans un appartement, en supposant qu'on prenne le courant au moyen d'un branchement sur la canalisation qui passe devant l'immeuble.

Les pièces sont distribuées comme l'indique la figure 211. On emploiera exclusivement l'incandescence, sauf à utiliser des lampes d'intensités différentes, 16, 10 et 8 bougies consommant 3w,5 par bougie. Nous supposerons le nombre et l'emplacement des lampes déterminés ; ils se trouvent indiqués dans le tableau ci-dessous et sur la figure 211.

NATURE DES PIÈCES	SURFACE	NOMBRE de lampes	INTENSITÉ en bougies
Grand salon..............	6m,00 × 5m,00 = 30m,00	3	10
Petit salon................	5m,00 × 3m,00 = 15m,00	2	10
Grande chambre...........	5m,00 × 4m,00 = 20m,00	2	16
2 cabinets de toilette.......	1m,50 × 2m,50 = 3m,75	2	8
Salle de bains.............	2m,00 × 1m,50 = 3m,00	1	8
Water-closet..............	1m,00 × 3m,50 = 3m,50	1	8
Chambre F...............	5m,00 × 3m,50 = 17m,50	2	10
Chambre H...............	3m,50 × 3m,00 = 10m,50	1	16
Escalier de service.........	3m,50 × 2m,00 = 7m,00	1	10
Cuisine..................	3m,50 × 3m,00 = 10m,50	2	8
Escalier principal..........	3m,00 × 3m,00 = 9m,00	1	16
Office....................	3m,00 × 2m,00 = 6m,00	1	8
Salle à manger............	5m,00 × 4m,00 = 20m,00	2	16
Antichambre..............	2m,00 × 5m,00 = 10m,00	2	8
Couloir..................	7m,00 × 1m,50 = 10m,50	2	8

Nous ne placerons pas ces lampes sur les mêmes circuits. Comme elles ne fonctionnent pas ensemble, il y a intérêt à grouper toutes celles qui éclairent en même temps ; il en ré-

sultera une marche plus régulière. On adoptera quatre circuits

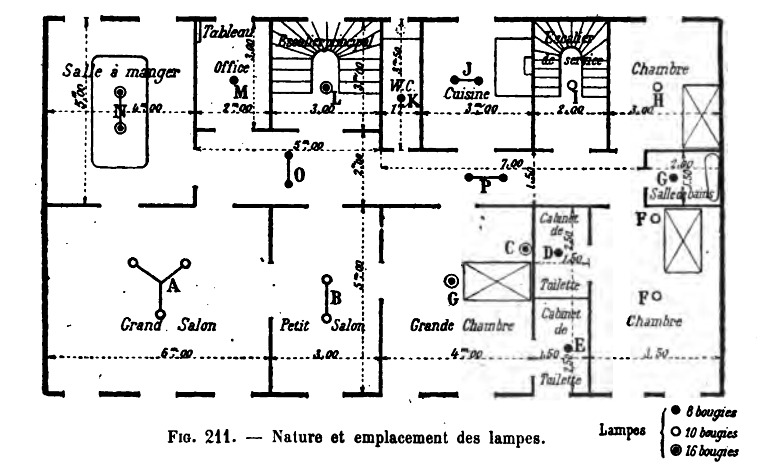


Fig. 211. — Nature et emplacement des lampes.

partant de l'office, où se trouve installé le tableau de distribution.

Intensités des courants. — Pertes de charge. — Nos lampes absorbent $3^w,5$ par bougie ; si on admet, en outre, que la distribution aux bornes du tableau se fait à 110 volts et qu'on perd 2 0/0, soit 2 volts dans les circuits, on aura d'après la loi $W = EI$:

$$I = \frac{W}{E}.$$

Or dans le cas présent on a pour chaque espèce de lampe :

$$I_{16} = \frac{3,5 \times 16}{108} = 0^a,52 \qquad I_{10} = \frac{3,5 \times 10}{108} = 0^a,32 \qquad I_8 = \frac{3,5 \times 8}{108} = 0^a,26.$$

Connaissant l'intensité nécessaire à chaque lampe, il sera facile de calculer, d'après le nombre des appareils alimentés, l'intensité du courant qui circule dans chaque circuit ou portion de circuit.

L'intensité une fois calculée, on en déduit la section s à

donner à chaque fil. En effet on a, l étant la longueur du fil, φ sa résistance spécifique,

$$e = ir, \qquad r = \frac{\varphi \times l}{s}.$$

Dans le cas du cuivre :

$$\varphi = 0{,}017;$$

d'où :

$$s = \frac{0{,}017 \times l \times i}{e}.$$

La valeur de s doit satisfaire à certaines conditions. La densité du courant, c'est-à-dire le rapport $\frac{i}{s}$, dans le cas particulier du fil enfermé dans des moulures en bois, doit être telle qu'il n'y ait à craindre aucun échauffement. On doit avoir :

$$\frac{i}{s} < \begin{cases} 3^a \text{ pour des sections de } 1 \text{ à } 5 \text{ millimètres carrés} \\ 2 \quad — \quad 5 \text{ à } 50 \quad — \\ 1 \quad — \quad \text{au-dessus de } 50 \quad — \end{cases}$$

Les lampes doivent avoir un éclat uniforme ; pour cela il faut qu'elles marchent sensiblement au même voltage. La différence d'une lampe à l'autre, c'est-à-dire la perte de charge, ne doit pas être supérieure à 1 0/0, et pour l'ensemble elle ne doit pas excéder 2 volts. On a pour la perte de charge :

$$E = i_1 r_1 = i_1 r_1 + i_2 r_2 = i_1 r_1 + i_2 r_2 + i_3 r_3,$$

E, voltage au tableau; i, r, intensité et résistance dans chaque circuit ou branchement; d'autre part :

$$r_1 = \frac{0{,}017 \times l_1}{s_1},$$

l_1 en mètres, et s_1 en millimètres carrés; il est donc facile de calculer la perte de charge d'un branchement à l'autre et dans chaque branchement.

Premier circuit. — Le premier circuit devra alimenter les deux escaliers, le petit salon, l'antichambre, le couloir, la

cuisine et les water-closets. On peut adopter la distribution en boucle d'après l'emplacement même des lampes, qui amène à cette disposition.

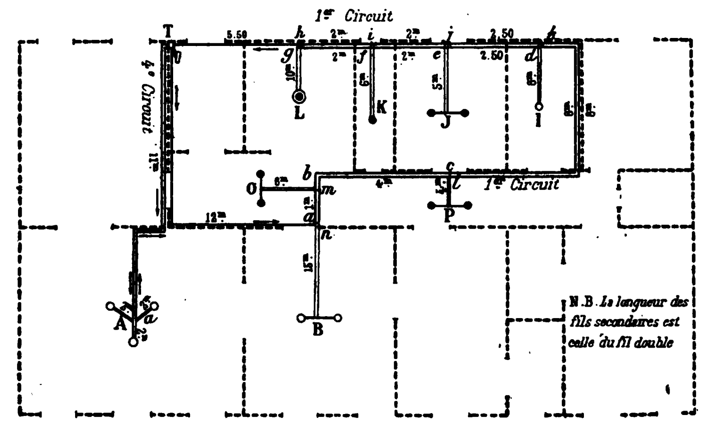


Fig. 212. — Premier et quatrième circuits.

Le schéma de la figure 212 donne les distances qui existent entre chaque branchement et le tableau de distribution. Ces distances peuvent se mesurer de T vers *a* ou de T vers *h*. Le tableau ci-dessous indique l'intensité du courant dans chaque portion du circuit parcouru dans l'un ou l'autre sens.

CIRCUITS	NOMBRE de LAMPES	INTENSITÉ partielle	INTENSITÉ totale	INTENSITÉ des branchements	CIRCUITS	NOMBRE de LAMPES	INTENSITÉ partielle	INTENSITÉ totale	INTENSITÉ des branchements
fg	1 de 16		0,52	*g*L 0,52	*mn*	2 de 10		0,65	*a*B 0,65
ef	1 de 8	0,52 0,26	0,78	*f*K 0,26	*lm*	2 de 8	0,65 0,52	1,17	*b*O 0,52
de	2 de 8	0,78 0,52	1,30	*e*J 0,52	*kl*	2 de 8	1,17 0,52	1,69	*c*P 0,52
cd	1 de 10	1,30 0,33	1,63	*d*I 0,33	*jk*	1 de 10	1,69 0,33	2,02	*d*I 0,33
bc	2 de 8	1,63 0,52	2,15	*c*P 0,52	*ij*	2 de 8	2,02 0,52	2,54	*e*J 0,52
ab	2 de 8	2,15 0,52	2,67	*b*O 0,52	*hi*	1 de 8	2,54 0,26	2,80	*f*K 0,26
T*a*	2 de 10	2,67 0,65	3,32	*a*B 0,65	T*h*	1 de 16	2,80 0.52	3,32	*g*L 0,52

Connaissant la longueur et le débit de chaque tronçon ou branchement, il est facile d'en déduire la section et la résistance et, par suite, la perte de charge.

La ligne T*h*, de longueur $5^{m},50$, devra fournir $3^{a},32$. Si on admet une perte de $\frac{2^{v}}{8}$, c'est-à-dire $0^{v},25$, pour répartir les 2 volts de perte totale sur les huit sections de la ligne, on aura pour cette section :

$$s = \frac{0,017 \times 5,50 \times 3,32}{0,25} = 1^{mm^2},25.$$

Le diamètre correspondant sera $d = 1^{mm},26$; nous prendrons $1^{m},5$, dont la section $s = 1^{mm^2},76$.

La condition $\frac{i}{s} = \frac{3^{a},32}{1,76} < 3$ est satisfaite.

Du moment où on a pris un diamètre supérieur à celui donné par le calcul, la résistance est modifiée, et la perte de charge devient :

$$e = ir = \frac{0,017 \times l \times 3,32}{s} = \frac{0,017 \times 5,5 \times 3,32}{1,76} = \frac{0,31}{1,76} = 0^{v},175.$$

La perte de charge sur les branchements s'évaluerait de la même façon. Pour chacun d'eux on peut prendre des diamètres de 1 millimètre, soit $0^{mm^2},785$, ce qui satisfait à la condition $\frac{i}{s} < 3^{a}$. Calculons la résistance du branchement *h*L, on a :

$$e = ir = \frac{0,017 \times 10 \times 0,52}{0,785} = 0^{v},112.$$

S'il s'agissait d'un branchement dans le cas d'une distribution ordinaire, la perte en volts depuis l'origine serait égale à celle de T à *h* plus celle du branchement. Mais, dans le cas d'une distribution en boucle, le courant allant de T vers L en passant par *a*, pour revenir par *h*, à la résistance de chaque branchement il faudra ajouter celle de tout le circuit. Il en résulte, dans ces conditions, que la différence de voltage de la première à la dernière lampe est insignifiante.

La résistance du circuit, non compris les branchements, est égale à 1^{v},167, en comptant de T vers *a*, ou 1^{v},169 de T vers *p*, c'est-à-dire la même; nous prendrons 1,168. Pour avoir la résistance d'une lampe, il suffira d'ajouter à ce nombre la résistance propre du branchement. De là le tableau suivant :

CONDUCTEURS	INTENSITÉ	LONGUEUR	SECTION	DIAMÈTRE	PERTE DE CHARGE	
					partielle	totale
		fil simple				
T*a*	3,32	12	1,76	1^{mm},1/2	0,384	»
ab	2,67	1	1,76	1 ,1/2	0,026	0,410
bc..........	2,15	4	0,785	1	0,186	0,596
cd	1,63	8	0,785	1	0,287	0,877
de..........	1,30	2,50	0,785	1	0,070	0,947
ef..........	0,78	2	0,785	1	0,034	0,981
fg..........	0,52	2	1,76	1 ,1/2	0,010	0,991
*h*T	3,32	5,50	1,76	1 ,1/2	0,176	1,167
T*h*	3,32	5,50	1,76	1 ,1/2	0,176	»
hi..........	2,80	2	1,76	1 ,1/2	0,054	0,230
ij	2,54	2	0,785	1	0,049	0,279
jk..........	2,02	2,50	0,785	1	0,109	0,388
kl..........	1,69	8	0,785	1	0,290	0,678
lm..........	1,17	4	0,785	1	0,101	0,779
mn.........	0,65	1	1,76	1 ,1/2	0,006	0,785
*a*T..........	3,32	12	1,76	1 ,1/2	0,384	1,169
Branchements..		fil double				
*h*L	0,52	10	0,785	1	0,112	1,280
*i*K	0,26	6	0,785	1	0,033	1,201
*j*J	0,52	5	0,785	1	0,056	1,224
*k*I..........	0,33	8	0,785	1	0,057	1,225
*l*P..........	0,52	4	0,785	1	0,045	1,213
*m*O	0,52	6	0,785	1	0,066	1,234
*n*B	0,65	15	0,785	1	0,211	1,379

Deuxième circuit. — Le deuxième circuit alimentera les chambres à coucher, les cabinets de toilette correspondants, la salle de bains. On adoptera la distribution ordinaire. Le tableau ci-joint indique l'intensité à fournir pour chaque partie du circuit et dans chaque branchement. La longueur de ces diverses parties se trouve figurée sur le schéma de la figure 213. Ici on n'a qu'à faire le calcul pour un seul sens,

tous les fils de retour étant parcourus par le même courant. On a le résumé des opérations dans le tableau suivant.

CONDUCTEURS	INTENSITÉ	LONGUEUR	SECTION	DIAMÈTRE	PERTES DE CHARGE	
					partielle	totale
		fil simple				
Ta	3,00	12	1,76	1mm,5	0,33	
ab.........	2,48	1	1,76	1 ,5	0,03	0,36
bc.........	1,96	1	0,785	1	0,04	0,40
cd.........	1,70	0,75	0,785	1	0,03	0,43
de.........	1,44	1,50	0,785	1	0,05	0,48
ef.........	1,11	1	0,785	1	0,03	0,51
fg.........	0,78	1	0,785	1	0,02	0,53
gh.........	0,52	1	0,785	1	0,01	0,54
Branchements		fil double				
*a*G	0,52	11	0,785	1	0,13	0,79
*b*C.........	0,52	5	0,785	1	0,06	0,78
*c*E.........	0,26	13	0,785	1	0,07	0,87
*d*D	0,26	8	0,785	1	0,05	0,91
*e*F.........	0,33	11	0,785	1	0,08	1,04
*f*F.........	0,33	5	0,785	1	0,04	1,06
*g*G	0,26	9	0,785	1	0,05	1,11
*h*H	0,52	11	0,785	1	0,13	1,21

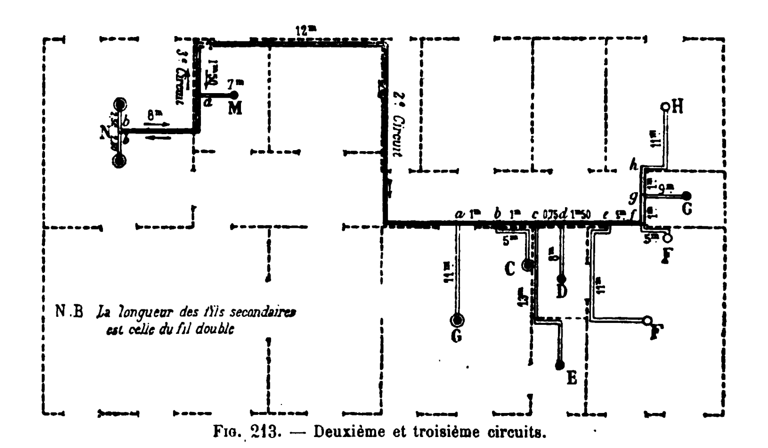


Fig. 213. — Deuxième et troisième circuits.

La différence de voltage n'excède pas 1 volt d'une lampe à l'autre, 2 volts pour tout le circuit ; dans ces conditions les dimensions trouvées sont acceptables. La résistance d'un branchement est obtenue en ajoutant à la résistance des conducteurs doublée celle du branchement.

Troisième circuit. — Ce circuit alimentera la salle à manger et l'office, soit trois lampes. La canalisation ne présentera rien de spécial. On aura les résultats suivants :

CONDUCTEURS	INTENSITÉ	LONGUEUR	SECTION	DIAMÈTRE	PERTE DE CHARGE	
					partielle	totale
		fil simple				
Ta	1,30	1m,50	0,785	1mm	0,04	0,04
ab	1,04	8m,00	0,785	1 —	0,19	0,23
Branchements		fil double				
aM	0,26	7m,00	0,785	1 —	0,04	0,12
bN	0,52	2m,50	0,785	1 —	0,03	0,49
bN	0,52	2m,50	0,785	1 —	0,03	0,49

Quatrième circuit. – Un circuit spécial (*fig.* 212) alimente le grand salon, soit 3 lampes de 10 bougies. Il n'y a rien de particulier à signaler.

CONDUCTEURS	INTENSITÉ	LONGUEUR	SECTION	DIAMÈTRE	PERTE DE CHARGE	
					partielle	totale
		fil simple				
Ta	1,56	11	0,785	1mm	0,39	»
		fil double				
a16 = a16 = a16	0,52	2=2=2	0,785	1	0,02	0,80

Tableau de distribution. — L'installation se complètera d'un petit tableau de distribution, qui comporte tout d'abord un compteur enregistrant la consommation d'énergie. Ce dernier sera précédé d'un interrupteur général avec coupe-circuit

agissant sur les deux fils, de manière à pouvoir supprimer le courant en une seule manœuvre (*fig.* 214).

Deux barres de prises de courant permettront de brancher les fils des divers circuits. Sur le fil positif de chaque branchement on placera un plomb fusible et un interrupteur de courant.

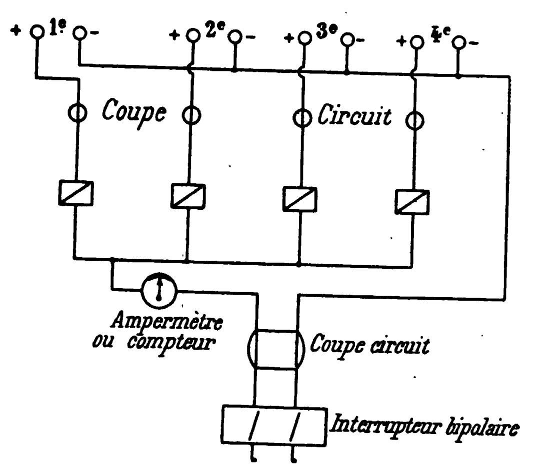


Fig. 214. — Tableau de distribution.

Dans les diverses pièces seront installés, sur les fils de lampes, des interrupteurs permettant d'éteindre chaque lampe à volonté.

ANNEXE

41 ***bis*****. Lampe Hantz.** — La lampe *Hantz* se compose d'un réservoir divisé en deux chambres : la chambre inférieure contient de l'air que l'on comprime au moyen d'une pompe indépendante, par l'intermédiaire d'une valve V ; la chambre supérieure contient le pétrole introduit par le bouchon B ; elle communique avec le réservoir d'air comprimé par l'intermédiaire d'un tube central. Un détendeur, placé à la partie inférieure de la lampe, sert à régler la pression.

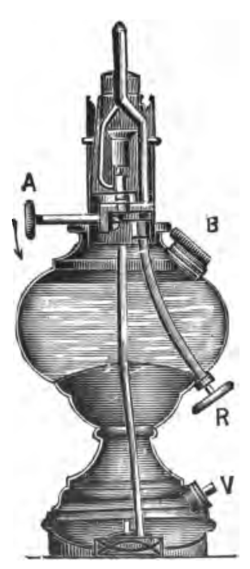


Fig. 31 *bis*. — Lampe Hantz.

Le tube d'ascension du pétrole, légèrement recourbé et perforé à sa base, plonge jusqu'au fond de la chambre supérieure, de manière à utiliser presque entièrement la provision qui est suffisante pour une marche de quatorze heures. Ce tube est muni d'un robinet à pointeau (R).

La partie supérieure du tube d'ascension du pétrole aboutit, dans une chambre annulaire, à un raccord qui le prolonge jusqu'au bas d'une tige en cuivre rouge soumise à l'action de la flamme. Par conductibilité cette tige s'échauffe : le pétrole est vaporisé, et les vapeurs, descendant par un petit tube représenté à gauche de la figure, pénètrent dans une sorte de bunzen disposé au centre de la chambre.

Le mélange d'air et de vapeurs de pétrole est enflammé au-dessus d'une toile métallique supportant un manchon du type Auer entouré d'une cheminée en verre.

Le nettoyage de l'orifice d'ajutage est assuré par une aiguille placée au centre et mue par un levier extérieur commandé par un bouton A.

L'allumage de cette lampe est assez délicat et long : après avoir comprimé l'air du réservoir, on introduit sous le brûleur des tampons d'amiante imbibés d'alcool, et on échauffe le brûleur pendant deux ou trois minutes; puis, ayant ouvert le robinet R, on manœuvre, au moyen du bouton A, l'aiguille fermant l'ajutage, et on allume.

Les résultats d'essais photométriques effectués au laboratoire du Service de l'Eclairage de la Ville de Paris ont accusé pour cette lampe une intensité lumineuse horizontale de 26^{carc},8 pour une consommation horaire de 125 grammes de pétrole. Ce rendement est très satisfaisant.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE I

ÉCLAIRAGE A L'HUILE VÉGÉTALE

§ 1. — Fabrication

§ 2. — Lampes à huile

CHAPITRE II

TRAITEMENT DES HUILES MINÉRALES

§ 1. — Exploitation des gisements

§ 2. — Raffinage de l'huile minérale

CHAPITRE III

ÉCLAIRAGE AUX HUILES MINÉRALES

§ 1. — Lampes à essence

§ 2. — Lampes au pétrole

§ 3. — Éclairage aux huiles lourdes

CHAPITRE IV

DISTILLATION DE LA HOUILLE

§ 1. — Production du gaz

§ 2. — Sous-produits

CHAPITRE V

DISTRIBUTION DU GAZ

CHAPITRE VI

BRULEURS

§ 1. — Brûleurs à air libre

§ 2. — Brûleurs intensifs à air froid

§ 3. — Brûleurs à air chaud

§ 4. — Brûleurs à incandescence

§ 5. — Brûleurs à gaz carburé

§ 6. — Appareils de réglage des brûleurs

CHAPITRE VII

ÉCLAIRAGE PRIVÉ. — ÉCLAIRAGE PUBLIC

§ 1. — Éclairage privé

§ 2. — Éclairage public

CHAPITRE VIII

GAZ SPÉCIAUX

§ 1. — Acétylène

§ 2. — Gaz riche

§ 3. — Gaz de bois et de tourbe

§ 4. — Gaz à l'eau

§ 5. — Gaz à l'air

CHAPITRE IX

ARC VOLTAIQUE ET INCANDESCENCE ÉLECTRIQUE

§ 1. — Production de l'arc

§ 2. — Régulateurs en série ou à intensité constante

§ 3. — Régulateurs en dérivation ou à potentiel constant

§ 4. — Régulateurs différentiels ou à résistance constante

§ 5. — Bougies électriques

§ 6. — Lampes à incandescence

CHAPITRE X

MONTAGE DES LAMPES

§ 1. — Lampes à arc

§ 2. — Lampes à incandescence

CHAPITRE XI

PHOTOMÉTRIE

§ 1. — Propriétés des foyers lumineux

§ 2. — Utilisation de la lumière

§ 3. — Quantité de lumière nécessaire

CHAPITRE XII

PROJETS D'ÉCLAIRAGE

§ 1. — Gaz

§ 2. — Electricité

ANNEXE

